



**NOVA**  
NOVA SCHOOL OF  
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA E INDUSTRIAL

INÊS MARAVILHA RAMOS MARQUES

Licenciada em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

# MTM na Melhoria de uma Linha de Produção *Lean*: Estudo de Caso

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa ,

Setembro, 2024





# MTM na Melhoria de uma Linha de Produção *Lean*: Estudo de Caso

**INÊS MARAVILHA RAMOS MARQUES**

Licenciada em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**Orientadora:** Professora Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera,  
Professora Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

## **Júri:**

**Presidente:** Doutora Susana Carla Vieira Lino Medina Duarte,  
Professora Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade NOVA de Lisboa

**Arguente:** Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu,  
Professor Coordenador com Agregação no Instituto Superior de  
Engenharia de Lisboa do Instituto Politécnico de Lisboa

**Orientadora:** Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera,  
Professora Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade  
NOVA de Lisboa

**Vogal:** Bruno Daniel Gil Lisboa Saúde,  
Value Stream Management Specialist na Volkswagen Autoeuropa /  
Value Stream Department

## **MTM na Melhoria de uma Linha de Produção *Lean*: Estudo de Caso**

Copyright © Inês Maravilha Ramos Marques, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

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



À minha mãe Alice,  
que partiu cedo demais.



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de deixar o meu agradecimento à Professora Alexandra Tenera pela orientação e acompanhamento dados ao longo do estudo. Agradeço muito o apoio dado nos momentos mais difíceis.

À Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa pela formação académica fornecida.

Ao Engenheiro Bruno Saúde pela orientação na Volkswagen Autoeuropa e ao Manager Alexander Heinzl pelo desafio proposto. Deixo também o meu agradecimento à Engenheira Ana Martins pelo apoio demonstrado. A experiência que me possibilitaram foi uma grande aprendizagem que levo comigo para a minha vida profissional. A toda a equipa do chão de fábrica, incluindo engenheiros e operadores, pela disponibilidade e colaboração para com o estudo efetuado.

Por fim, gostaria de agradecer às pessoas mais importantes, que estão sempre presentes na minha vida e foram quem me deu força para continuar quando eu pensei que já não a tinha: família e amigos.

À minha família, em especial o meu pai, a minha irmã, os meus avós, a minha madrinha e a Paula, que apesar de não ser família de sangue é como se fosse. Estiveram presentes muito antes do começo do curso, incentivaram-me e fizeram-me a pessoa que sou hoje. Obrigada pelo espaço para desabafar e pelo apoio.

Aos meus amigos, especialmente à Rita, à Filipa, à Vanessa, à Carolina e à Bia. Não conseguia ter chegado ao fim sem vocês e são uma parte essencial do meu percurso.

Ao Diogo, por estar sempre aqui.

À minha mãe, que fez de mim aquilo que sou hoje. Gostaria que estivesse aqui para ver que consegui.



*"Good ideas don't take time. They take a lot of bad ideas first."*

(Zarek, 2021)



## RESUMO

O setor automóvel está cada vez mais competitivo, com clientes a exigir produtos customizados, baixos custos e elevada qualidade. Desta forma, as empresas têm implementado metodologias *Lean*, *Six Sigma* e Teoria das Restrições, bem como abordagens integradoras na melhoria de processos, redução de custos e aumentos de qualidade.

Na presente dissertação propõe-se e explora-se a integração do MTM no *Lean*, para aumentos de produtividade e redução de desperdícios, baseada no ciclo PDCA, propondo-se o MTM para identificação de oportunidades de melhoria e o *Lean* na redução de desperdícios.

A metodologia de estudo proposta foi implementada na Volkswagen Autoeuropa, tendo sido aplicada numa linha de produção (PA) de chassis para melhoria da sua eficiência. Da implementação identificaram-se 15 ações para redução de desperdícios, priorizadas com uma proposta de utilização de mapas conceptuais e matriz de riscos, tendo como resultado a seleção de medidas com foco na melhoria do desempenho na estação de inspeção e reparação (PA210) através do seu estudo MTM e na organização do *buffer* do final da linha de produção, para redução dos tempos de espera. Com estas ações, estima-se que o tempo máximo de processo na estação de inspeção e reparação reduza 16,16% e que o tempo de ciclo da linha de produção passe a cumprir o *takt time* de 73,92 segundos.

**Palavras chave:** Linha de produção, Melhoria contínua, *Lean*, MTM, PDCA

## ABSTRACT

The automotive sector is increasingly competitive, with customers demanding customized products, low costs and high quality. Companies have therefore implemented Lean, Six Sigma and Theory of Constraints methodologies, as well as integrative approaches to improve processes, reduce costs and increase quality.

This dissertation proposes and explores the integration of MTM in Lean to increase productivity and reduce waste, based on the PDCA cycle, proposing MTM to identify opportunities for improvement and Lean to reduce waste.

The proposed methodology was implemented at Volkswagen Autoeuropa and applied to the chassis production line (PA) to improve its efficiency. The implementation identified 15 actions to reduce waste, prioritized with a proposal to use concept maps and a risk matrix, resulting in the selection of measures focused on improving the performance of the inspection and repair station (PA210), through its MTM study, and on organizing the buffer at the end of the production line, to reduce waiting times. With these actions, it is estimated that the maximum process time at the inspection and repair station will be reduced by 16.16% and that the cycle time of the production line will comply with the takt time of 73,92 seconds.

**Keywords:** Production line, Continuous improvement, Lean, MTM, PDCA

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	Contextualização do Problema em Estudo.....	1
1.2	Objetivos da Investigação.....	2
1.3	Metodologia de Trabalho.....	3
1.4	Estrutura da Dissertação.....	4
<b>2</b>	<b>MODELOS HÍBRIDOS NA MELHORIA CONTÍNUA E MTM</b> .....	<b>5</b>
2.1	Metodologias de Melhoria Contínua.....	5
2.1.1	Teoria das Restrições.....	7
2.1.2	<i>Lean</i> .....	11
2.1.3	<i>Six Sigma</i> .....	13
2.2	Identificação e Caracterização de Modelos Híbridos.....	15
2.2.1	Integração <i>Lean</i> e <i>Six Sigma</i> .....	19
2.2.2	Integração TOC e <i>Lean</i> .....	22
2.2.3	Integração TOC e <i>Six Sigma</i> .....	24
2.2.4	Integração TOC, <i>Lean</i> e <i>Six Sigma</i> (TLS).....	26
2.3	Sistema de Tempos Pré-determinados (MTM).....	34
2.3.1	Caracterização da Utilização do MTM na Melhoria Contínua.....	35
2.3.2	<i>Methods-Time Measurement</i> (MTM).....	36
2.3.3	Sistema de Blocos de Tempos MTM.....	38

<b>3</b>	<b>APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO E METODOLOGIA DE ESTUDO .....</b>	<b>41</b>
3.1	Síntese da Produção Automóvel .....	41
3.2	Apresentação da Empresa de Estudo .....	42
3.3	Caracterização do Sistema em Estudo .....	46
3.4	Metodologia de Estudo .....	49
3.4.1	Diagnóstico do Sistema (1ª Fase).....	51
3.4.2	Identificação e Caracterização de Oportunidades de Melhoria (2ª Fase).....	55
3.4.3	Seleção das Oportunidades de Melhoria (3ª Fase).....	55
3.4.4	Estimativa dos Potenciais Impactos das Melhorias (4ª Fase) .....	57
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE ESTUDO .....</b>	<b>58</b>
4.1	Diagnóstico do Sistema (1ª Fase).....	58
4.1.1	Análise de Turnos .....	58
4.1.2	Eficiência do Sistema Produtivo.....	61
4.1.3	Cronometragem de Tempos de Ciclo e de Processo .....	64
4.1.4	Tempos de Ciclo, de Processo e de Espera .....	66
4.1.5	Estudo de Tempos nas Estações PA210 e ED145.....	73
4.1.5.1	Estação de trabalho PA210.....	73
4.1.5.2	Estação de trabalho ED145.....	80
4.1.6	Comparação dos Tempos de Processo Teóricos e Cronometrados.....	82
4.1.7	Correlação dos Tempos de Ciclo da Cronometragem.....	84
4.1.8	Estudo da Disponibilidade das Estações Automáticas da Zona PA .....	87
4.2	Identificação e Caracterização de Oportunidades de Melhoria (2ª Fase).....	88
4.3	Seleção de Oportunidades de Melhoria (3ª Fase).....	92
4.4	Estimativa dos Potenciais Impactos das Melhorias (4ª Fase) .....	94
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES DO ESTUDO, LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>101</b>
5.1	Principais Conclusões.....	101
5.2	Limitações.....	103

5.3	Trabalhos Futuros.....	104
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>105</b>
<b>A</b>	<b>FOLHAS DE ANÁLISE MTM.....</b>	<b>115</b>
A.1	PA210: MTM dos processos (turnos A e B).....	115
A.2	PA210: MTM dos processos (turnos C e D).....	126
A.3	PA210: MTM do processo de reparação.....	141
A.4	ED145: MTM dos processos.....	142
A.5	ED145: MTM do processo de reparação.....	151
<b>B</b>	<b>FOLHAS DE TRABALHO <i>STANDARD</i>.....</b>	<b>161</b>
B.1	PA210: Folhas de trabalho <i>standard</i> (turnos A e B).....	162
B.2	PA210: Folhas de trabalho <i>standard</i> (turnos C e D).....	165
B.3	PA210: Folhas de trabalho <i>standard</i> (proposta).....	169
<b>C</b>	<b>MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR.....</b>	<b>171</b>
<b>D</b>	<b>VERIFICAÇÃO DO IMPACTO DAS MELHORIAS NÃO PRIORITÁRIAS.....</b>	<b>175</b>
D.1	Melhorias de Implementação Não Prioritária.....	175
D.2	Melhorias para Revisão.....	179



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Metodologia de Trabalho .....	3
Figura 2.1 - Ciclo PDCA.....	6
Figura 2.2 - Evolução da TOC.....	7
Figura 2.3 - Tipos de restrições.....	8
Figura 2.4 - Os 5 Passos Fundamentais da TOC .....	9
Figura 2.5 - Representação do sistema DBR.....	10
Figura 2.6 - Evolução do <i>Lean</i> .....	11
Figura 2.7 - Os 5 princípios <i>Lean</i> .....	12
Figura 2.8 - Evolução do Six Sigma .....	14
Figura 2.9 - Ciclo DMAIC .....	14
Figura 2.10 - Modelos LSS: Cronograma.....	20
Figura 2.11 - Modelos TOCLEan: Cronograma.....	23
Figura 2.12 - Modelos TOCSS: Cronograma .....	25
Figura 2.13 - Cronograma dos modelos TLS desenvolvidos.....	29
Figura 2.14 - <i>Lean</i> , <i>Six Sigma</i> , TLS: Colaboração na redução de custos.....	32
Figura 2.15 - Redução de desperdícios com a aplicação de MTM.....	36
Figura 2.16 - MTM no processo de conceção do produto.....	36
Figura 2.17 - Etapas de aplicação do MTM .....	37
Figura 2.18 - Agrupamento de movimentos MTM.....	38
Figura 2.19 - Tipos de processo MTM.....	39
Figura 3.1 - Produção global de automóveis em 2023.....	42
Figura 3.2 - Estratégia “NEW AUTO” – Mobility for Generations to Come.....	43
Figura 3.3 - Cronograma da Volkswagen Autoeuropa .....	44

Figura 3.4 - Produção da Volkswagen Autoeuropa por mercado .....	45
Figura 3.5 - Organigrama da Volkswagen Autoeuropa .....	45
Figura 3.6 - <i>Layout</i> da área em estudo .....	47
Figura 3.7 - Estações de trabalho na Zona de <i>Pre-Assembly</i> .....	48
Figura 3.8 - Metodologia de estudo .....	50
Figura 3.9 - Matriz de prioridades.....	56
Figura 4.1 - Gráfico de probabilidades da distribuição Normal .....	59
Figura 4.2 - Gráfico Resíduos <i>vs</i> Ordem de execução das experiências.....	60
Figura 4.3 - Gráfico valores previstos <i>vs</i> resíduos.....	60
Figura 4.4 - <i>Buffer</i> PA e caminhos seguidos pelas <i>frames</i> .....	62
Figura 4.5 - Ocupação do <i>buffer</i> PA num cenário de ocupação com 6 <i>frames</i> .....	62
Figura 4.6 - Frequência da ocupação do <i>buffer</i> PA durante uma semana.....	63
Figura 4.7 - Dispersão dos tempos de processo observados: Exemplo .....	67
Figura 4.8 - Tempos de ciclo, de processo e de espera das estações de trabalho .....	68
Figura 4.9 - Aplicação do 5W: Estações da Zona PA com elevados tempos de espera .....	69
Figura 4.10 - Tempos de ciclo das estações de trabalho com e sem <i>outliers</i> .....	70
Figura 4.11 - Tempos de processo das estações de trabalho com e sem <i>outliers</i> .....	72
Figura 4.12 - PA210: Distribuição dos operadores por turno.....	74
Figura 4.13 - PA210: Diagrama de Pareto das reparações .....	74
Figura 4.14 - PA210: Diagramas de esparguete dos operadores.....	75
Figura 4.15 - PA210F: Folha de trabalho <i>standard</i> ("Gasóleo + Automático") .....	77
Figura 4.16 - PA210: Tempos de processo por variante (turnos A e B) .....	78
Figura 4.17 - PA210: Tempos de processo por variante (turnos C e D).....	78
Figura 4.18 - PA210: Tempo normal de processo médio por operador.....	79
Figura 4.19 - PA145: Diagrama de esparguete do operador.....	80
Figura 4.20 - ED145: Diagrama de Pareto das reparações .....	80
Figura 4.21 - Tempos de processo cronometrados e teóricos por estação.....	82
Figura 4.22 - PA210: Tempo de ciclo cronometrado e do sistema - 4 de março de 2024.....	85
Figura 4.23 - PA210: Tempo de ciclo cronometrado e do sistema - 3 de abril de 2024.....	86
Figura 4.24 - Zona PA: Tempos de paragem das estações automáticas.....	87
Figura 4.25 - VSM do estado atual com oportunidades das melhorias .....	89
Figura 4.26 - Matriz de prioridades das oportunidades de melhoria identificadas .....	92
Figura 4.27 - Mapa conceptual dos problemas e oportunidades de melhoria .....	93

Figura 4.28 - PA210: <i>Layout</i> da estação.....	94
Figura 4.29 - PA210F: Diagrama de esparguete .....	95
Figura 4.30 - PA210F: Folha de trabalho <i>standard</i> proposta ("Gasóleo + Automático").....	96
Figura 4.31 - PA210F: Tempo normal de processo por variante (atual e proposta) .....	97
Figura 4.32 - Sugestão do posicionamento das <i>frames</i> no <i>buffer</i> .....	98
Figura 4.33 - Gavetas de peças do posto de trabalho PA210 .....	99
Figura B.1 - PA210F: Folha de trabalho <i>standard</i> ("Gasóleo + Manual") .....	162
Figura B.2 - PA210F: Folha de trabalho <i>standard</i> ("Gasolina + Automático").....	163
Figura B.3 - PA210F: Folha de trabalho <i>standard</i> ("Gasolina + Manual") .....	163
Figura B.4 - PA210B: Folha de trabalho <i>standard</i> .....	164
Figura B.5 - PA210R: Folha de trabalho <i>standard</i> ("Gasóleo + Automático") .....	165
Figura B.6 - PA210R: Folha de trabalho <i>standard</i> ("Gasóleo + Manual").....	166
Figura B.7 - PA210R: Folha de trabalho <i>standard</i> ("Gasolina + Automático") .....	167
Figura B.8 - PA210R: Folha de trabalho <i>standard</i> ("Gasolina + Manual").....	168
Figura B.9 - PA210L: Folha de trabalho <i>standard</i> .....	168
Figura B.10 - PA210F: Folha de trabalho <i>standard</i> proposta ("Gasóleo + Manual") .....	169
Figura B.11 - PA210F: Folha de trabalho <i>standard</i> proposta ("Gasolina + Automático").....	170
Figura B.12 - PA210F: Folha de trabalho <i>standard</i> proposta ("Gasolina + Manual") .....	170
Figura C.1 - VSM atual com oportunidades de melhoria: Secção inicial da Zona PA.....	172
Figura C.2 - VSM atual com oportunidades de melhoria: Secção final da Zona PA.....	173
Figura D.1 - Posicionamento da câmara de verificação do pino.....	176
Figura D.2 - Estações sem trabalho: <i>Lead time</i> da <i>frame</i> (atual e proposta).....	177
Figura D.3 - Trajeto efetuado pelos AGVs entre o <i>Engine Dress</i> e a PA40 .....	178
Figura D.4 - Correspondência do chassis e carroçaria .....	179
Figura D.5 - PA40: Saída de AGV .....	180
Figura D.6 - PA40: Diagrama de processos da saída do AGV (atual e proposta) .....	180
Figura D.7 - PA40: Entrada do AGV .....	181
Figura D.8 - PA40: Diagrama de processos da entrada do AGV (atual e proposta) .....	182
Figura D.9 - Diagrama de processo das propostas 5 e 6 conjuntas (atual e proposta) .....	183
Figura D.10 - PA40: Robô quando a <i>frame</i> não está no local .....	184



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Descrição das fases do ciclo PDCA .....	6
Tabela 2.2 - Variantes do ciclo PDCA.....	6
Tabela 2.3 - As 9 regras OPT.....	8
Tabela 2.4 - Descrição dos 5 Passos Fundamentais da TOC.....	9
Tabela 2.5 - Questões do <i>Thinking Process</i> , respetivo propósito e ferramentas.....	10
Tabela 2.6 - Descrição dos 5 Princípios <i>Lean</i> .....	12
Tabela 2.7 - Desperdícios <i>Lean</i> e ferramentas a usar para os eliminar.....	12
Tabela 2.8 - Ciclo DMAIC e ferramentas a utilizar .....	15
Tabela 2.9 - Análise comparativa das metodologias de melhoria contínua .....	16
Tabela 2.10 - Complementaridades na integração das metodologias de melhoria contínua..	17
Tabela 2.11 - Diferenças entre as 3 metodologias fundamentais de melhoria contínua .....	18
Tabela 2.12 - Diferenças entre Teoria das Restrições e <i>Lean Six Sigma</i> .....	19
Tabela 2.13 - Análise comparativa da estrutura dos modelos LSS.....	21
Tabela 2.14 - Resultados da aplicação de modelos LSS.....	21
Tabela 2.15 - Análise comparativa da estrutura dos modelos TOCLean.....	23
Tabela 2.16 -Resultados da aplicação de modelos TOCLean.....	24
Tabela 2.17 - Resultados da aplicação de modelos TOCLSS .....	25
Tabela 2.18 - Ferramentas para variabilidades.....	26
Tabela 2.19 - Ferramentas por tipo de desperdício .....	27
Tabela 2.20 - Análise comparativa da estrutura dos modelos TLS.....	30
Tabela 2.21 - Resultados da aplicação de modelos TLS.....	31
Tabela 2.22 - Sistemas MTM .....	39
Tabela 3.1 - Tempo de produção diário por turno.....	46

Tabela 4.1 - Matriz de planeamento .....	58
Tabela 4.2 - ANOVA de variação dos tempos de ciclo entre turnos .....	59
Tabela 4.3 - Zona PA: Disponibilidade Operacional, Desempenho, Qualidade e OEE.....	61
Tabela 4.4 - Número de observações a retirar por estação de trabalho.....	65
Tabela 4.5 - Análise de <i>outliers</i> : Exemplo.....	66
Tabela 4.6 - Causas para a existência de <i>outliers</i> : Exemplo .....	67
Tabela 4.7 - Tempos de processo, espera e ciclo por estação.....	67
Tabela 4.8 - Tempos de ciclo e desvios padrão por estação com e sem <i>outliers</i> .....	69
Tabela 4.9 - Tempos de processo e desvios padrão por estação com e sem <i>outliers</i> .....	71
Tabela 4.10 - Aplicação do MTM-1: Exemplo.....	75
Tabela 4.11 - PA210: <i>Mix</i> de veículos da amostra .....	76
Tabela 4.12 - PA210: Tempos normais de processo (turno, operador e variante) .....	76
Tabela 4.13 - ED145: <i>Mix</i> de veículos da amostra .....	81
Tabela 4.14 - ED145: Tempos normais de processo (variante) .....	81
Tabela 4.15 - Matriz de correlação do erro percentual médio na PA10.....	84
Tabela 4.16 - Matriz de correlação do erro percentual médio na PA210 .....	86
Tabela 4.17 - Matriz de correlação do erro percentual médio na DK10 .....	87
Tabela 4.18 - Zona PA: Disponibilidade das estações automáticas .....	88
Tabela 4.19 - Oportunidades de melhoria identificadas .....	90
Tabela 4.20 - PA210F: Tempo normal de processo por operador e variante (proposta).....	95
Tabela 4.21 - PA210: Tempo normal de processo por variante (atual e proposta).....	98
Tabela A.1 - PA210F: MTM do processo ("Gasóleo + Automático").....	115
Tabela A.2 - PA210F: MTM do processo ("Gasóleo + Manual").....	118
Tabela A.3 - PA210F: MTM do processo ("Gasolina + Automático").....	120
Tabela A.4 - PA210F: MTM do processo ("Gasolina + Manual").....	122
Tabela A.5 - PA210B: MTM do processo .....	123
Tabela A.6 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Automático").....	126
Tabela A.7 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Manual").....	130
Tabela A.8 - PA210R: MTM do processo ("Gasolina + Automático").....	134
Tabela A.9 - PA210R: MTM do processo ("Gasolina + Automático").....	136
Tabela A.10 - PA210L: MTM do processo .....	139
Tabela A.11 - PA210: MTM do processo de reparação do cubo da roda.....	141
Tabela A.12 - ED145: MTM do processo ("Gasóleo ou 4x4").....	142

Tabela A.13 - ED145: MTM do processo ("Gasolina + 4x2").....	146
Tabela A.14 - ED145: MTM do processo de reparação do semi-eixo .....	151
Tabela A.15 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasóleo + Automático") .....	152
Tabela A.16 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasóleo + Manual").....	154
Tabela A.17 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasolina + Automático") .....	156
Tabela A.18 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasolina + Manual").....	158
Tabela D.1 - PA40: <i>Lead time</i> para os <i>buffers</i> da Zona ED (atual e proposta).....	178
Tabela D.2 - PA40: Atividades internas e externas realizadas pelo robô (atual) .....	184
Tabela D.3 - PA40: Atividades internas e externas do robô (proposta).....	185



## SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

5FS	<i>5 Focusing Steps</i> (5 Passos de Focalização)
5W	<i>5 Whys</i> (5 Porquês)
A	Erro
AE	Autoeuropa
AGV	<i>Autonomous Guided Vehicle</i>
AS	<i>Allied Signal</i>
BM	<i>Buffer Management</i>
C	Capacidade
CTQ	<i>Critical to Quality</i>
D	Disponibilidade
DMAIC	<i>Define - Measure - Analyse - Improve - Control</i> (Definir - Medir - Analisar - Melhorar - Controlar)
DBR	<i>Drum - Buffer - Rope</i> (Tambor - Reserva - Corda)
DK	<i>Decking</i>
DO	Disponibilidade Operacional
DoE	<i>Design of Experiments</i> (Desenho de Experiências)
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades
ED	<i>Engine Dress</i>

FMEA	<i>Failure Mode Effect Analyses</i>
GE	<i>General Electric</i>
IQR	<i>Interquartile range</i> (Intervalo interquartil)
JIS	<i>Just in Time</i>
JIT	<i>Just in Sequence</i>
LI	Limite Inferior
LS	Limite Superior
LSS	<i>Lean Six Sigma</i>
MTM	<i>Methods-Time Measurement</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
$n$	Dimensão aceitável da amostra
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (Eficiência Global dos Equipamentos)
OPT	<i>Optimized Production Technology</i> (Tecnologia otimizada de produção)
PA	<i>Pre-Assembly</i>
PDCA	<i>Plan - Do - Check - Act</i> (Planejar - Executar - Conferir - Agir)
Q	Quartil
$\bar{s}$	Desvio padrão estimado
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
SPC	<i>Statistical Process Control</i> (Cartas de Controlo)
SS	<i>Six Sigma</i>
SUMA	Supermercado
TC	Tempo de ciclo
TLS	Teoria das Restrições <i>Lean Six Sigma</i>
TOC	Teoria das Restrições

<b>TOClean</b>	Teoria das Restrições <i>Lean</i>
<b>TOCSS</b>	Teoria das Restrições <i>Six Sigma</i>
<b>TP</b>	<i>Thinking Process</i>
<b>TPM</b>	<i>Total Productive Maintenance</i>
<b>TPR</b>	Tempo de processo
<b>VOC</b>	<i>Voice of Customer</i> (Voz do Cliente)
<b>VSM</b>	<i>Value Stream Mapping</i> (Mapeamento do Fluxo de Valor)
<b>VW</b>	Volkswagen
<b>WIP</b>	<i>Work in Process</i>
$\bar{x}$	Média
<b>Z</b>	Intervalo de Confiança

# INTRODUÇÃO

A presente dissertação expõe o Estudo de Caso desenvolvido em colaboração com a Volkswagen Autoeuropa, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa. Neste Estudo de Caso é desenvolvida e aplicada uma metodologia de análise e melhoria do sistema em estudo, baseada no ciclo PDCA, utilizando ferramentas *Lean* e MTM, com integração da matriz de riscos e do mapa conceptual para a priorização das ações de melhoria.

O Capítulo introdutório define a contextualização da dissertação, os seus objetivos e metodologia de estudo utilizada. Termina ao apresentar a estrutura da dissertação.

## 1.1 Contextualização do Problema em Estudo

Na atualidade observa-se uma acrescida competitividade entre organizações vinda da evolução tecnológica que torna as indústrias mais dinâmicas e os mercados mais saturados. Adicionalmente, os clientes são caracterizados pelo seu elevado nível de exigência, sendo necessário ter um alto nível de produtividade, oferecendo produtos de elevada variedade e customizados, a preços baixos e com níveis de qualidade cada vez mais altos para sobreviver no mercado.

A indústria automóvel não é indiferente a estas adversidades, estando os produtores europeus neste momento a focar os seus esforços para tentar superar o seu grande competidor em crescimento, a China. Isto traduz-se na necessidade das empresas a adotarem abordagens que melhorem continuamente os seus processos e produtos.

Desta forma, há um grande foco para eliminar os desperdícios produtivos e reduzir os custos operacionais ao máximo, sendo possível atingir este objetivo através da metodologia

*Lean*. O conceito *Lean* é reconhecido pela melhoria da eficiência, da qualidade do produto e dos prazos de entrega, ao reduzir atividades sem valor acrescentado, da perspectiva do cliente (Thomas et al., 2008).

Por outro lado, salienta-se a importância do desenvolvimento de estudos *offline* nos sistemas produtivos, de maneira a testar diferentes soluções, analisando os seus resultados, sem haver necessidade de impactar o funcionamento normal do sistema, dando suporte aos gestores na tomada de decisão. Daí surge o benefício dos sistemas de tempos pré-determinados. O *Methods-Time Measurement* (MTM) calcula o tempo requerido para um operador realizar uma sequência de operações no posto de trabalho. Este pode ser utilizado como uma ferramenta de análise para identificação de desperdícios e para verificação do impacto de soluções, contribuindo para a melhoria contínua do processo (Lopes et al., 2022).

Esta dissertação foi desenvolvida em colaboração com a Volkswagen Autoeuropa, que propôs um projeto que consiste na melhoria da eficiência da Zona *Pre-Assembly* (PA), uma das linhas de produção da fábrica, por meio da utilização de abordagens de melhoria contínua.

Para melhorar a Zona PA foi proposta uma metodologia baseada no ciclo PDCA, integrando a metodologia MTM com a metodologia *Lean*. Desta forma, o sistema em estudo foi analisado, recorrendo ao MTM e ao *Lean* com a finalidade de identificar desperdícios, reduzir os desperdícios identificados e, assim, melhorar a eficiência produtiva.

## 1.2 Objetivos da Investigação

Mediante a identificação prévia de setores restritivos da produção, visa-se melhorar a eficiência de uma das linhas de produção que alimenta a linha principal da área da Montagem na Volkswagen Autoeuropa, através da utilização de uma metodologia com base no ciclo PDCA, que integre as metodologias MTM e *Lean*. Esta linha (Zona C) está dividida em duas Zonas: Zona *Engine Dress* (ED) e Zona *Pre-Assembly* (PA). Verificou-se em estudos prévios que a Zona PA tem um impacto direto no nível de produção a atingir, uma vez que apresenta desperdícios que levam ao aparecimento de estações em espera por produto ao longo da linha, sendo o objetivo principal do estudo a melhoria da eficiência desta Zona e da entrega do seu produto à Zona B para colmatar o aparecimento destas estações vazias. Para tal, é fulcral a identificação das principais fontes de desperdícios ao longo da linha, suportadas por abordagens MTM e *Lean*. Assim, e após a caracterização do desempenho do sistema produtivo, poderá proceder-se à sua melhoria, sendo fundamental a identificação das perdas,

existindo uma lacuna no que diz respeito à identificação de desperdícios ligados à performance e qualidade, em detrimento das perdas associadas a falhas de equipamentos.

Para a concretização do objetivo principal de melhorar a eficiência da linha de produção, foram delineados os seguintes objetivos para o desenvolvimento do Estudo de Caso:

- Análise da Zona PA e das áreas de interação da Zona ED e Zona B com a Zona PA através de *Gemba Walks* e da recolha e tratamento de dados;
- Aplicação de ferramentas *Lean*;
- Aplicação da ferramenta MTM;
- Monitorização do processo produtivo.

Serve, desta forma, a presente dissertação, para explorar as vantagens e desafios da implementação de uma metodologia integradora das abordagens MTM e *Lean* na indústria automóvel, bem como a aplicabilidade da ferramenta MTM incorporada nas metodologias de melhoria contínua para a identificação de desperdícios, facilidade da tomada de decisões, incremento da capacidade de produção e melhoria do sistema produtivo.

### 1.3 Metodologia de Trabalho

O desenvolvimento da dissertação seguiu a metodologia presente na Figura 1.1.

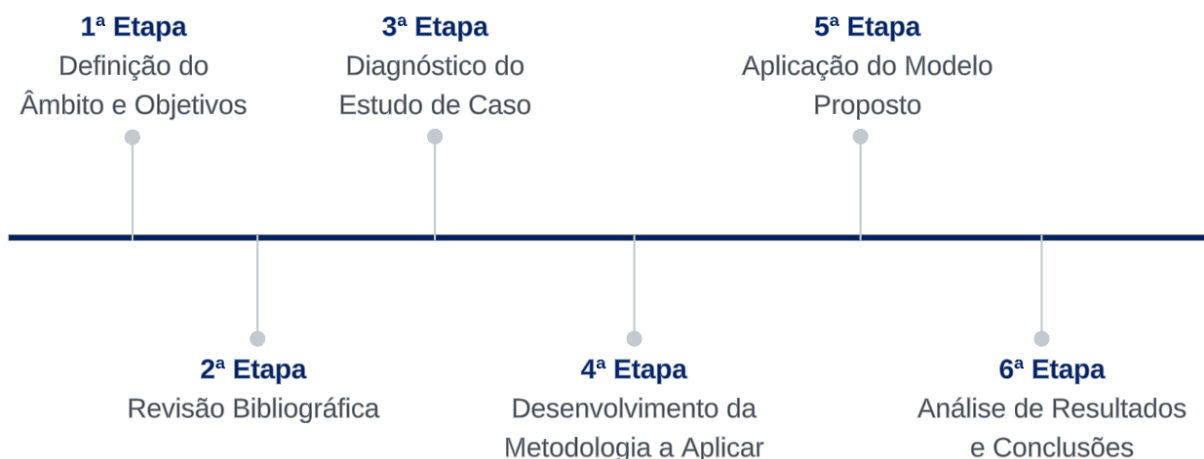


Figura 1.1 - Metodologia de Trabalho

Primeiramente, foram definidos os objetivos do estudo, os quais constam no subcapítulo 1.2. Na segunda etapa, foi efetuada uma pesquisa do estado da arte das metodologias de melhoria contínua, bem como de modelos híbridos integrantes das mesmas. A revisão bibliográfica desenvolvida focou-se também no estudo do sistema de tempos pré-determinados a utilizar como ferramenta de melhoria contínua, de acordo com os objetivos definidos.

A terceira etapa corresponde à apresentação da empresa e do setor industrial da mesma. É também caracterizado o sistema em estudo, incluindo o fluxo produtivo, recursos e produtos. De seguida, na quarta etapa, foi desenvolvida a metodologia aplicada no Estudo de Caso, que tivesse a capacidade de atingir os objetivos definidos. A quinta etapa destinou-se à aplicação dessa metodologia, iniciando-se por uma análise e recolha de dados do sistema produtivo em estudo, passando então para a conceção de oportunidades de melhoria.

Na última etapa, foram analisados os resultados obtidos de forma a concluir o estudo. Foram discutidas as contribuições do estudo para a organização e as contribuições para a comunidade científica, acrescentando-se as limitações do estudo e trabalhos futuros.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação é constituída por cinco capítulos, consoante a seguinte estrutura:

- Capítulo 1:** Breve introdução ao tema, o seu enquadramento e objetivos. Exposição da metodologia de estudo e da estruturação da dissertação;
- Capítulo 2:** Revisão bibliográfica das metodologias de melhoria contínua (*Lean*, *Six Sigma* e Teoria das Restrições), modelos híbridos e do *Methods-Time Measurement* (MTM);
- Capítulo 3:** Diagnóstico da empresa, do respetivo setor e do sistema produtivo em estudo. Apresentação da metodologia de integração MTM e *Lean* proposta para aplicação, bem como das lógicas e ferramentas a utilizar em cada etapa da metodologia;
- Capítulo 4:** Apresentação da implementação da metodologia, constituída pelo diagnóstico do sistema produtivo, identificação de oportunidades de melhoria e priorização e seleção das mesmas, finalizando com a estimativa dos seus potenciais impactos;
- Capítulo 5:** Reflexão crítica dos resultados do estudo, suas limitações e contributos para a firma e para a comunidade científica. Apresentação de recomendações de trabalhos futuros.

## MODELOS HÍBRIDOS NA MELHORIA CONTÍNUA E MTM

Este Capítulo expõe os fundamentos teóricos utilizados como suporte para a elaboração do presente estudo. Iniciou-se por uma apresentação das metodologias de melhoria contínua: a Teoria das Restrições (TOC), o *Lean* e o *Six Sigma* (SS). Daí, passa-se à exposição dos modelos de integração parcial (*Lean* e SS; *Lean* e TOC; SS e TOC) e de integração geral (TOC, *Lean* e SS), conhecidos por TLS. São ainda discutidas e apresentadas as vantagens e desvantagens da utilização destes modelos híbridos, bem como as suas complementaridades, incluindo ainda uma análise comparativa e apresentação de resultados já alcançados com a sua implementação. Como o âmbito do estudo passa pela integração da metodologia MTM na melhoria contínua, o Capítulo encerra com a exposição da metodologia MTM e com o seu enquadramento na melhoria contínua.

### 2.1 Metodologias de Melhoria Contínua

O ciclo PDCA (*Plan - Do - Check - Act*) é o fundamento da iniciativa da melhoria contínua, sendo ao mesmo tempo uma das suas ferramentas (Miškolci & Rajchlová, 2024). Foi popularizado por William Edwards Deming na década de 1950, tendo sido criado nos anos de 1920 por Walter Andrew Shewhart (Rangel-Sánchez et al., 2024). O ciclo centra-se na satisfação do cliente e na gestão da qualidade, sendo constituído por 4 fases: Planear, Executar, Conferir e Agir (Figura 2.1). As suas fases são expostas na Tabela 2.1.

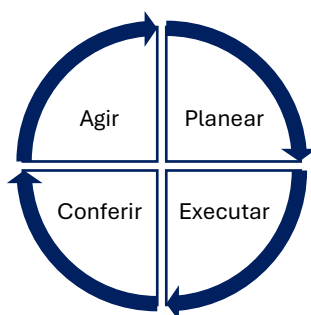


Figura 2.1 - Ciclo PDCA

Tabela 2.1 - Descrição das fases do ciclo PDCA

Fases	Descrição
<b>Planear</b>	Realização de um plano estratégico, que indique as partes interessadas no processo e no projeto, os objetivos e os prazos do projeto. Análise do processo para determinar a causa dos problemas e potenciais oportunidades de melhoria.
<b>Executar</b>	As medidas definidas na fase de planeamento são implementadas. É elaborado um plano de implementação para as ações necessárias, a seguir ao qual as ações serão implementadas.
<b>Conferir</b>	Análise dos resultados obtidos das soluções implementadas na fase anterior. Serão utilizadas métricas e medidas quantificáveis para efetuar uma comparação aos objetivos definidos na fase de planeamento.
<b>Agir</b>	A equipa atua com base nos resultados da fase Conferir. São aperfeiçoadas as soluções, caso necessário, e são alargadas a outros departamentos ou processos. Quando os resultados obtidos são os desejados, é efetuada a padronização e monitorização das atividades. Caso contrário, a equipa deve voltar à fase inicial e efetuar uma revisão que dê resposta aos resultados obtidos.

O ciclo PDCA tem vindo a evoluir continuamente desde a sua criação, surgindo variantes do mesmo. Rangel-Sánchez et al. (2024) expõe várias sinergias do ciclo PDCA com ferramentas de melhoria contínua, em particular *Lean Six Sigma*. Também evidencia a adaptabilidade do ciclo PDCA a metodologias complexas, modelos híbridos e a várias áreas de aplicação. A Tabela 2.2 apresenta variantes do ciclo PDCA (Rangel-Sánchez et al., 2024; Wong et al., 2024).

Tabela 2.2 - Variantes do ciclo PDCA

Ciclo	Fases	Descrição
<b>PDSA</b>	<i>Plan - Do - Study - Act</i>	Substitui a terceira etapa do ciclo original pela etapa Estudar. Esta variante é útil em casos mais complexos, que exijam uma reflexão mais aprofundada.
<b>OPDCA</b>	<i>Observe - Plan - Do - Study - Act</i>	É acrescentada uma etapa inicial de observação do sistema ao ciclo original, a qual é muito valorizada na metodologia <i>Lean</i> , para caracterizar o estado atual do sistema.
<b>EPACA</b>	<i>Evaluate - Plan - Action - Check - Amend</i>	Esta abordagem salienta que as melhorias organizacionais mais significativas são alcançadas através da implementação eficaz de ações corretivas e preventivas.
<b>PDAC</b>	<i>Plan - Do - Act - Challenge</i>	Abordagem direcionada para estabelecer novos desafios no âmbito da melhoria da organização, através da definição de objetivos ambiciosos.

## 2.1.1 Teoria das Restrições

A primeira metodologia de melhoria contínua apresentada é a Teoria das Restrições ou *Theory of Constraints* (TOC). Desenvolvida por Eliyahu Goldratt, defende que ao melhorar um sistema de produção, os esforços da empresa devem focar-se no elemento mais restritivo do desempenho do sistema, uma vez que é este que limitará o seu nível de desempenho (Lv, 2021; Tenera & Abreu, 2008). A TOC surge em 1979, com o *software* de programação da produção OPT (*Optimized Production Technology*) e, segundo Watson et al. (2007), a sua evolução pode ser dividida em 5 eras, cada uma correspondente a um livro de Goldratt, as quais se encontram apresentadas cronologicamente na Figura 2.2, com os principais marcos associados a cada uma.

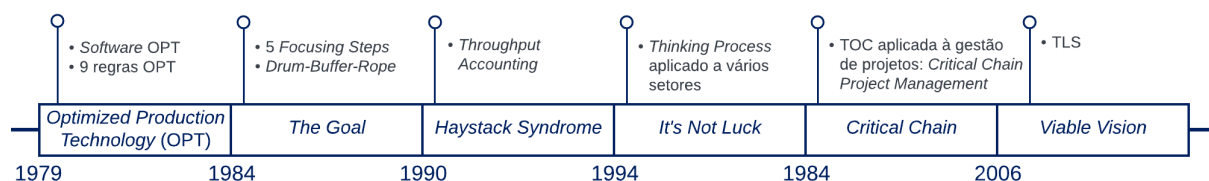


Figura 2.2 - Evolução da TOC

[Adaptado: Watson et al. (2007), p.388]

O princípio fundamental da Teoria das Restrições afirma que em cada sistema de produção há no mínimo uma restrição limitante da capacidade e do desempenho do sistema (Watson et al., 2007). Neste sentido, é fundamental perceber que tipos de restrições existem (Figura 2.3). Uma restrição externa é causada por a procura do mercado ser inferior à capacidade produtiva. Enquanto que uma restrição interna significa que a capacidade produtiva do sistema é inferior à procura do mercado, ou seja, esse sistema é incapaz de satisfazer toda a procura (Sims & Wan, 2017; Sproull, 2023; Tenera & Rosas, 2019). Dentro destas duas categorias, ainda podem haver outras divisões, segundo Silva (2015).

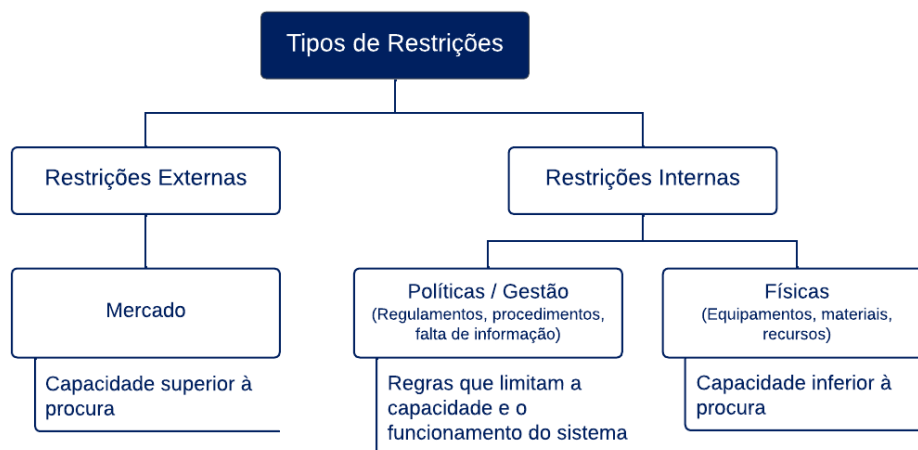


Figura 2.3 - Tipos de restrições

[Fonte: Silva (2015), p.8]

- **As 9 Regras de Otimização**

Goldratt definiu regras com o intuito de otimizar os recursos com base nas restrições de um sistema, as quais foram seguidas para o desenvolvimento e implementação do *software* de planeamento de produção (OPT) desenvolvido na primeira era da TOC (Goldratt & Fox, 1986; Watson et al., 2007). As 9 regras estabelecidas estão enumeradas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - As 9 regras OPT

[Fonte: Silva (2015), p.9]

9 Regras OPT	
1.	Balancear o fluxo, não a capacidade.
2.	O nível de utilização de uma não-restrição não é determinado pelo seu próprio potencial, mas por uma outra restrição no sistema.
3.	A utilização e a ativação de um recurso não são sinónimos.
4.	Uma hora perdida numa restrição é uma hora perdida para todo o sistema.
5.	Uma hora ganha num ponto sem estrangulamento é apenas uma miragem.
6.	As restrições determinam tanto o <i>throughput</i> (capacidade de <i>output</i> de um sistema num determinado período de tempo) como os <i>stocks</i> .
7.	O lote de transferência pode não ser, e muitas vezes não deve ser, igual ao lote do processo.
8.	O lote do processo deve ser variável e não fixo.
9.	Os calendários devem ser estabelecidos tendo em conta todas as restrições em simultâneo. Os prazos de entrega são o resultado de um calendário e não podem ser pré-determinados.

- **Os 5 Passos Fundamentais**

É no livro *"The Goal"* que Goldratt apresenta os 5 Passos Fundamentais ou 5 *Focusing Steps* (5FS) da TOC representados na Figura 2.4. Estes foram delineados com o objetivo de assegurar que a gestão orienta os seus esforços para os fatores vitais que melhoram o desempenho do sistema, como é o caso da restrição (Goldratt & Cox, 2004; Reid, 2007).



Figura 2.4 - Os 5 Passos Fundamentais da TOC

Os 5 passos são descritos na Tabela 2.4 (Pretorius, 2014; Reid, 2007).

Tabela 2.4 - Descrição dos 5 Passos Fundamentais da TOC

Fases	Descrição
<b>Identificação da restrição</b>	Determinar o recurso do sistema que está a limitar o aumento do desempenho do sistema, ou seja, a restrição
<b>Exploração da restrição</b>	Maximizar a eficiência operacional do recurso limitador do sistema ao eliminar desperdícios, tempo e atividades não produtivas
<b>Subordinação da restrição</b>	Sincronizar os elementos não-restrição com e de forma a apoiarem a restrição. O sistema deve produzir de maneira a que a restrição tenha sempre trabalho a realizar, mas não produzir mais que o necessário para não criar inventário em excesso
<b>Elevação da restrição</b>	Quando os segundo e terceiro passos são insuficientes para eliminar a restrição, deverá recorrer-se à elevação da sua capacidade. Esta etapa incorre, habitualmente, num investimento e em despesas para adquirir mais mão-de-obra ou novos equipamentos
<b>Avaliação</b>	Verificar se a restrição mudou e retomar ao passo inicial para garantir o ciclo de melhoria contínua. É fundamental não permitir que a inércia passe a ser a restrição do sistema, ou seja, ao recomençar o ciclo, é necessário olhar para o sistema como um sistema novo e questionar todas as decisões tomadas anteriormente

- **Drum-Buffer-Rope**

O método *Drum-Buffer-Rope* (DBR) deriva da aplicação dos 5 passos fundamentais da TOC referidos acima e assume que a restrição de um sistema é um recurso interno do mesmo, ou seja, um recurso de restrição de capacidade (*Capacity Constraint Resource*). Este método possibilita a diminuição de *work in progress* (WIP) e do tempo de ciclo e o aumento da produtividade (Kempa & Paprocka, 2024).

O *Drum* ou tambor simboliza a restrição do sistema, definindo o ritmo de produção. O *buffer*, medido em termos de tempo, é colocado estrategicamente para proteger a restrição de variabilidades e evitar que esta não pare de trabalhar por falta de material. A *Rope* ou corda é o mecanismo que vai libertar o material para o sistema a um ritmo definido pela restrição, evitando a acumulação de WIP. Desta forma, os vários níveis da cadeia de abastecimento

calculam o comprimento da corda até ao tambor e, em seguida, efetuam a encomenda com base no *buffer* a jusante da restrição (Rays Filho et al., 2023; A. Tenera & Abreu, 2008).

Na implementação do DBR, existe também a fase de monitorização denominada *Buffer Management* (BM) ou Gestão de Reservas. Este método controla a quantidade de *WIP* necessária no *buffer* para não prejudicar a produção através do *buffer status*. Assim, é estabelecido um sistema de 3 cores que divide o *buffer* (Ikeziri et al., 2023; Rays Filho et al., 2023). Na Figura 2.5, encontra-se um esquema representativo do método DBR aliado ao BM.

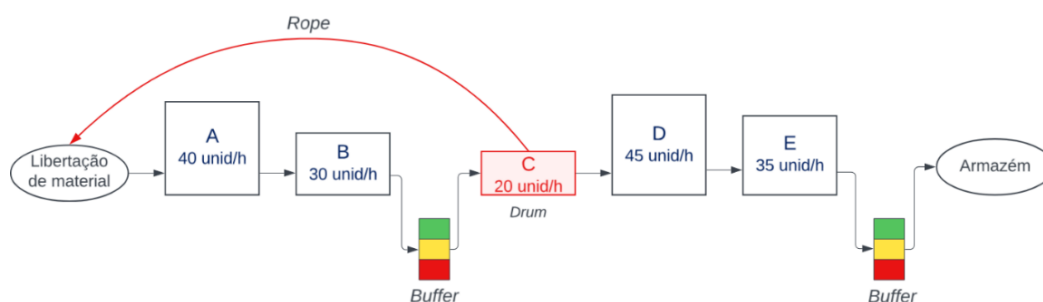


Figura 2.5 - Representação do sistema DBR

[Adaptado: Lucas (2014), p.16]

- **Thinking Process**

A lógica dos *Thinking Processes* (TP) foi criada para permitir que as empresas conseguissem criar um processo de melhoria contínua em que estas conseguissem criar as suas soluções de forma independente. Esta inicialmente era constituída por 3 questões que devem ser colocadas quando se ambiciona um projeto de melhoria contínua: *O que mudar?*, *Mudar para quê?* e *Como mudar?*. A estas, foram mais tarde adicionadas duas últimas questões (Mabin & Cavana, 2024; A. Tenera & Rosas, 2019). A Tabela 2.5 identifica as questões desta lógica, apresenta o respetivo propósito e ferramentas a usar.

Tabela 2.5 - Questões do *Thinking Process*, respetivo propósito e ferramentas

Questão	Propósito	Ferramentas
1. <b>Porquê mudar?</b>	Identificar o objetivo e confirmar que não está a ser cumprido atualmente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Árvore dos Objetivos</li> <li>• Lista de efeitos indesejáveis</li> </ul>
2. <b>O que mudar?</b>	Identificar claramente o problema central que está na origem dos efeitos indesejáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Árvore da Realidade Atual</li> <li>• Diagrama de Resolução de Conflitos</li> </ul>
3. <b>Mudar para quê?</b>	Construir e testar a solução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de Resolução de Conflitos</li> <li>• Árvore da Realidade Futura</li> <li>• Reservas de Ramos Negativos</li> </ul>
4. <b>Como mudar?</b>	Identificar os obstáculos e conceber o plano de execução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Árvore de Pré-requisitos</li> <li>• Árvore de Transição</li> <li>• Árvore Estratégia &amp; Tática</li> </ul>
5. <b>Como manter a mudança?</b>	Estabelecer regras e medidas para consolidar os novos comportamentos e manter a mudança	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alterar os comportamentos (políticas, descrições de funções, medidas, regras)</li> <li>• Repetir o ciclo?</li> </ul>

Goldratt apresenta também outras ideologias como o *Throughput Accounting* em que são desenvolvidas medidas de monitorização que contribuem para a tomada de decisões ou o *Critical Chain Project Management* que é um método de calendarização de produção e de serviços, que defende que os recursos humanos representam uma restrição, devendo a gestão centrar-se nas pessoas para atingir os objetivos do projeto (Anastasiu et al., 2023; Kunrath et al., 2022; Tenera & Abreu, 2008).

## 2.1.2 Lean

A metodologia *Lean* surgiu no Japão nos anos 50, na *Toyota Motor Company*, com o desenvolvimento do Sistema de Produção Toyota ou *Toyota Production System*. Este sistema de melhoria contínua, desenvolvido por Taiichi Ohno, tinha o objetivo de acompanhar a necessidade da Toyota de produzir uma variedade elevada de veículos na mesma linha de montagem, criada pelo colapso da economia japonesa e pelo mercado reduzido com elevada variedade de produtos. Com isto, surge o *Lean*, que priorizava a eficiência e qualidade da produção ao reduzir desperdícios e contrariava a filosofia até aí vigente da produção em massa, conseguindo, assim, satisfazer os clientes ao menor custo possível (Ohno, 2001; P. Womack et al., 1990). A Figura 2.6, apresenta a progressão ao longo tempo do *Lean*, incluindo a altura em que esta apenas era conhecida e utilizada pela Toyota e a partir do momento em que esta passa a ser conhecida à restante indústria fabril (Hines et al., 2004).

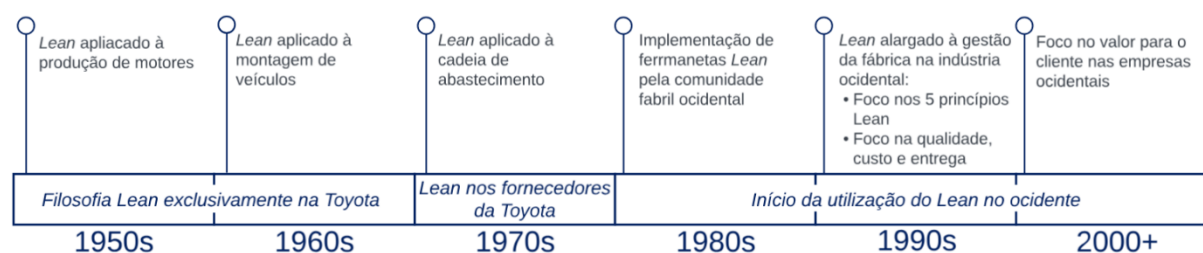


Figura 2.6 - Evolução do *Lean*

A produção *Lean* tem como base 5 princípios (Figura 2.7) que devem ser seguidos continuamente para eliminar os desperdícios de um sistema e, conseqüentemente, torná-lo mais eficiente (Dias et al., 2020). A descrição destes princípios é apresentada na Tabela 2.6 (Maware & Adetunji, 2019; Womack & Jones, 1996).

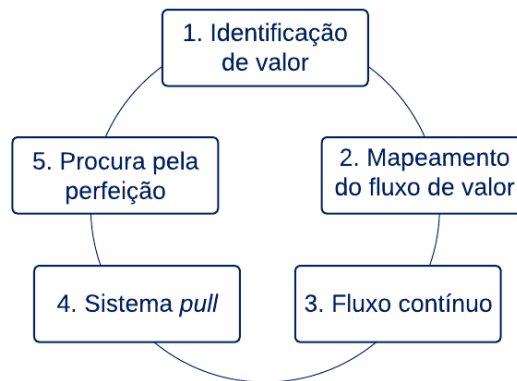


Figura 2.7 - Os 5 princípios *Lean*

Tabela 2.6 - Descrição dos 5 Princípios *Lean*

Fases	Descrição
<b>Identificação do valor</b>	Definir o produto que o cliente deseja (características, qualidade, preço e prazo de entrega)
<b>Mapeamento do fluxo de valor</b>	Identificar e interligar as atividades realizadas na concepção do produto. Diferenciá-las como atividades com valor para o cliente, atividades sem valor, mas necessárias para a concepção do produto e atividades sem valor que devem ser eliminadas
<b>Fluxo contínuo</b>	Após eliminar os desperdícios, é necessária a gestão do fluxo de recursos no sistema produtivo, para garantir o fluxo do mesmo
<b>Sistema <i>pull</i></b>	Produzir o produto quando este é requerido, para reduzir as existências em inventário e WIP
<b>Procurar a perfeição</b>	Voltar ao primeiro passo para garantir a melhoria contínua do sistema

A eliminação de desperdícios (MUDAs) é o foco principal do *Lean*. Para esta eliminação, é necessário perceber o tipo de desperdício em causa para proceder à sua eliminação, existindo 7 desperdícios *Lean* (Sacadura & Tenera, 2011). Atualmente, já é referido um oitavo desperdício correspondente ao desperdício de potencial humano. Na Tabela 2.7, são definidos os 8 tipos de desperdícios e ferramentas sugeridas a utilizar para eliminar cada um dos MUDAs (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014; Rajab et al., 2022; Widiwati et al., 2024).

Tabela 2.7 - Desperdícios *Lean* e ferramentas a usar para os eliminar

Desperdícios	Descrição do desperdício	Ferramentas
<b>Sobreprodução</b>	Fabrico de produto antes do necessário e que não tem procura por parte dos clientes. Este desperdício causa um aumento de inventário, espera e utilização excessiva de recursos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção <i>pull</i></li> <li>• <i>Kanban</i></li> <li>• <i>Just in time</i> (JIT)</li> <li>• <i>Heijunka</i></li> <li>• <i>Single-Minute Exchange of Die</i> (SMED)</li> </ul>

Tabela 2.7 - Desperdícios *Lean* e ferramentas a usar para os eliminar (continuação)

Desperdícios	Descrição do desperdício	Ferramentas
<b>Inventário</b>	Armazenagem excessiva de produtos sem procura e excesso de WIP. Um elevado nível de inventário gera maiores custos de manutenção das mesmas. Há um aumento do custo associado ao espaço de armazém e dos recursos necessários para manter as existências, uma maior movimentação das existências e aumento do tempo associado a essa movimentação. Este desperdício também provoca o aumento de existências obsoletas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção <i>pull</i></li> <li>• <i>Kanban</i></li> <li>• JIT</li> <li>• <i>Heijunka</i></li> </ul>
<b>Espera</b>	Tempo de espera dos operadores, que pode ser causado por atrasos no processamento, tempo de inatividade de um equipamento ou do sistema, falta de material ou componentes para as estações ou tempo de <i>setup</i> de equipamentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPM</li> <li>• Produção <i>pull</i></li> <li>• <i>Kanban</i></li> <li>• JIT</li> <li>• <i>Heijunka</i></li> <li>• <i>Standard work</i></li> <li>• SMED</li> </ul>
<b>Sobrep processamento</b>	Efetuar mais trabalho ou mais processos do que o necessário para satisfazer o cliente. Utilizar mais peças ou mais recursos do que o necessário ou utilizar equipamentos mais complexos quando um equipamento mais simples é suficiente para realizar a tarefa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Standard work</i></li> <li>• 5S</li> <li>• <i>Andon</i></li> </ul>
<b>Transporte</b>	Movimentação de componentes e produtos entre locais. Uma maior distância entre estações de trabalho ou armazéns, aumenta a complexidade do transporte, que gera mais custos e maior necessidade de recursos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção <i>pull</i></li> <li>• Fluxo contínuo</li> </ul>
<b>Movimentação</b>	Movimentos desnecessários de pessoas no chão de fábrica ou micro-movimentos nos postos de trabalho (caminhar, levantar, alcançar, dobrar, esticar e mover)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5S</li> <li>• Gestão visual</li> <li>• <i>Standard work</i></li> </ul>
<b>Defeitos</b>	Produção de um produto fora das especificações do cliente, quer por utilização de materiais ou componentes defeituosos ou por o produto estar fora das especificações. Este desperdício conduz a retrabalho, inspeção, alterações de conceção, alterações de processo e tempo de paragem da máquina para analisar problemas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPM</li> <li>• <i>Standard work</i></li> <li>• <i>Poke-yoke</i></li> <li>• <i>Jidoka</i></li> <li>• Gestão visual</li> </ul>
<b>Desperdício de potencial humano</b>	Incapacidade de explorar as competências e conhecimentos dos trabalhadores para efetuar melhorias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação de equipas <i>kaizen</i></li> <li>• Aumento da autonomia e responsabilidade</li> <li>• <i>Jidoka</i></li> </ul>

### 2.1.3 *Six Sigma*

O Seis Sigma ou *Six Sigma* (SS) foi criado por Bill Smith na empresa *Motorolla* em 1986. Esta abordagem, altamente baseada em dados e ferramentas e análises estatísticas avançadas, consiste na melhoria da qualidade de processos e produtos através da redução de variabilidades nos processos e de defeitos. Assim, o SS foca-se na melhoria dos processos para que se atinja um nível de qualidade de 99,99966%, a uma frequência de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. *Sigma* ( $\sigma$ ), em estatística, representa o desvio padrão, significando a nomenclatura *Six Sigma*, que se pretende que a variabilidade do processo seja menor que seis desvios padrão em relação à média (Efimova et al., 2021; Olenici et al., 2023; Sodhi, 2023). A Figura 2.8

representa a evolução da metodologia *Six Sigma*, originada na *Motorolla*, que evolui mais tarde nas empresas *General Electric (GE)*, *Allied Signal (AS)* e *DuPont*.

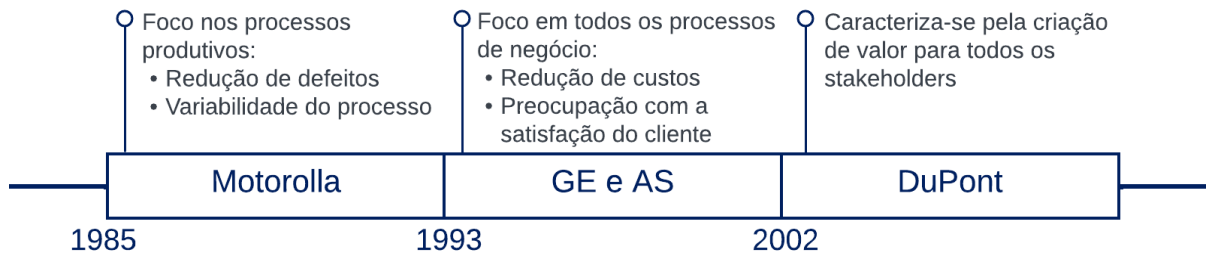


Figura 2.8 - Evolução do Six Sigma

[Fonte: Silva (2015), p.18]

O Seis Sigma é colocado em prática seguindo os passos integrantes do Ciclo DMAIC: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyse* (Analisar), *Improve* (Melhorar), *Control* (Controlar). Este é um sistema de melhoria contínua, tal como representa a Figura 2.9.

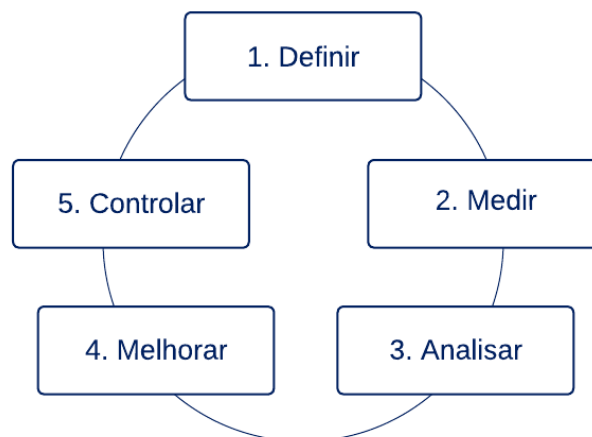


Figura 2.9 - Ciclo DMAIC

O Ciclo DMAIC é constituído por 5 passos, os quais são continuamente seguidos para perseguir a perfeição do processo. A descrição destes passos é evidenciada na Tabela 2.8, em que também são referidas sugestões de ferramentas *Six Sigma* que poderão ser utilizadas em cada uma das etapas (Fathiya et al., 2024; Leal, 2015; Silva, 2015).

Tabela 2.8 - Ciclo DMAIC e ferramentas a utilizar

Fases	Descrição	Ferramentas
<b>Definir</b>	Definição dos objetivos e âmbito do projeto. Apresentação do problema em evidência, de datas de conclusão do projeto e distribuição de funções pelos membros integrantes da equipa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Project Charter</i></li> <li>• <i>Voice of Customer</i> (VOC)</li> <li>• Análise de reclamações</li> <li>• <i>Run chart</i></li> <li>• Fluxograma</li> <li>• Diagrama SIPOC (<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer</i>)</li> <li>• <i>Critical to Quality</i> (CTQ)</li> </ul>
<b>Medir</b>	Avaliação e compreensão do estado atual do sistema em estudo. Recolha e tratamento de dados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Statistical Process Control</i> (SPC): Cartas de Controlo</li> <li>• Estudo R&amp;R</li> <li>• DPMO (Defeitos Por Milhão de Oportunidades)</li> </ul>
<b>Analisar</b>	Análise dos dados recolhidos na fase Medir para determinar as causas e efeitos relacionados às fontes de variabilidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de Pareto</li> <li>• Diagrama de Ishikawa</li> <li>• FMEA (<i>Failure Mode Effect Analyses</i>)</li> <li>• Diagrama em Árvore</li> <li>• <i>Tolerance stack-up</i></li> <li>• SPC: Desenho de Experiências (DoE) e ANOVA</li> <li>• 5 Porquês ou 5 <i>Whys</i> (5W)</li> <li>• 5W2H (<i>Who? What? Where? When? Why? How? How much?</i>)</li> </ul>
<b>Melhorar</b>	Proposta de soluções que proporcionem a melhoria dos problemas encontrados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Brainstorming</i></li> <li>• Fluxograma de oportunidades</li> <li>• Matriz de prioridades</li> </ul>
<b>Controlar</b>	Assegurar que as soluções implementadas têm o impacto esperado no sistema e garantir que os resultados obtidos se mantêm. Estabilizar as melhorias efetuadas e proceder ao controlo estatístico nos processos modificados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CC</li> <li>• Testes de Hipóteses</li> <li>• Auditorias</li> </ul>

## 2.2 Identificação e Caracterização de Modelos Híbridos

As metodologias de melhoria contínua apresentadas têm focos e abordagens distintas para atingir um mesmo objetivo. Cada uma destas apresenta também limitações. Nesse sentido, gerou-se a necessidade e a tentativa de integrar estes sistemas de melhoria contínua para par ou até mesmo uma combinação dos três como tentativa de reduzir e eliminar essas limitações (Gupta et al., 2024; Sproull, 2023). Na Tabela 2.9, apresenta-se um excerto da análise comparativa das metodologias de melhoria contínua elaborada por Pacheco (2014). São apresentadas as características destes três sistemas, incluindo as suas limitações, benefícios, métodos utilizados para atingir a melhoria contínua de um sistema, entre outros aspetos.

Tabela 2.9 - Análise comparativa das metodologias de melhoria contínua

[Adaptado: Pacheco (2014), p.950]

Sistemas	Teoria das Restrições	<i>Lean</i>	<i>Six Sigma</i>
<b>Teoria</b>	Gestão das restrições	Redução de desperdícios	Redução da variabilidade e de defeitos
<b>Foco</b>	Na restrição	No fluxo	No problema
<b>Meta</b>	Crescimento contínuo dos lucros	Maximização da produtividade	Maximização dos resultados do negócio
<b>Objetivo estratégico</b>	Sincronizar	Simplificar	Estabilizar
<b>Pressuposto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destaque na velocidade e volume</li> <li>• Analisa sistemas existentes</li> <li>• Existe interdependência entre processos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A redução de desperdícios aumenta o desempenho do negócio</li> <li>• Várias pequenas melhorias são mais eficazes do que a análise sistemática</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Há um problema</li> <li>• Valorização da estatística e números</li> <li>• Melhoria do <i>output</i> do sistema pela redução da variabilidade dos processos</li> </ul>
<b>Efeito primário</b>	Aumenta o ganho rapidamente	Reduz o tempo de fluxo	Uniformiza o <i>output</i> do processo
<b>Efeitos secundários</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição de inventário e desperdícios</li> <li>• Ganho é a métrica de desempenho do sistema</li> <li>• Aumento da qualidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da variabilidade</li> <li>• <i>Output</i> uniforme</li> <li>• Redução de inventário</li> <li>• Fluxo como medida de desempenho de gestores</li> <li>• Incremento da qualidade e produtividade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição de desperdícios e inventário</li> <li>• Geração rápida de ganhos</li> <li>• Variabilidade como medida de desempenho para gestores</li> <li>• Aumento da qualidade</li> <li>• Cultura de mudança</li> </ul>
<b>Limitações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não considera a opinião dos trabalhadores</li> <li>• Análise de dados não é avaliada</li> <li>• Mínimo trabalho inicial</li> <li>• Ignora partes da organização e da produção por se focar na restrição</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não utiliza ferramentas estatísticas e análise de sistemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não considera as interações no sistema</li> <li>• Melhorias de processos efetuadas de forma independente</li> </ul>
<b>Dificuldade na implementação</b>	Dificuldade alta	Dificuldade baixa	Dificuldade média
<b>Impacto financeiro</b>	Aumenta os ganhos	Reduz o inventário e o custo operacional	Reduz o custo operacional

Na Tabela acima observa-se que tanto a TOC como o *Lean* e o *Six Sigma* apresentam diferentes focos e abordagens. No entanto, estas podem-se complementar quando utilizadas em simultâneo. Na Tabela 2.10, são apresentados os benefícios da integração das metodologias.

Tabela 2.10 - Complementaridades na integração das metodologias de melhoria contínua

[Fonte: Silva (2015), p.24]

	TOC é auxiliada:	Lean é auxiliado:	Six Sigma é auxiliado:
TOC auxilia:		<ul style="list-style-type: none"> <li>Os conceitos e ferramentas de TOC auxiliam na gestão do fluxo nas restrições.</li> <li>O <i>Thinking Process</i> e a <i>Critical Chain</i> auxiliam a gestão de projetos <i>Lean</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A TOC fornece um foco aos projetos de melhoria Seis Sigma.</li> <li>A contabilidade de ganhos da TOC permite avaliar mais adequadamente o impacto financeiro das melhorias Seis Sigma.</li> </ul>
Lean auxilia:	<p>Os conceitos e ferramentas <i>Lean</i> auxiliam na implementação de soluções TOC ao fornecer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Melhor controlo visual;</li> <li>Menor dependência de computadores;</li> <li>Maior envolvimento dos colaboradores nos projetos de melhoria.</li> </ul>		<p>Os conceitos e ferramentas <i>Lean</i> auxiliam o Seis Sigma a focar-se na redução da variabilidade e aumento da satisfação dos clientes, com a redução dos desperdícios que tornam os processos e tempo de resposta mais rápidos.</p>
Six Sigma auxilia:	<ul style="list-style-type: none"> <li>A satisfação dos clientes gerada no Seis Sigma impulsiona e reforça a longo prazo os ganhos operacionais da visão TOC.</li> <li>As ferramentas estatísticas ajudam na análise, controlo e ajuste dos <i>buffers</i> de produto.</li> </ul>	<p>O foco do Seis Sigma na redução da variabilidade auxilia o <i>Lean</i> a alcançar processos mais estáveis e fiáveis devido ao estudo e otimização da variabilidade dos processos.</p>	

Okimura (2013) sintetiza, então, as complementaridades que cada uma das metodologias possibilita na integração da TOC, *Lean* e *SS*:

- A TOC identifica a restrição do sistema, que será alvo de implementação de melhorias através da integração de ferramentas *Lean* e *Six Sigma*. Esta abordagem também possibilita a melhoria dos indicadores utilizados para contabilizar os ganhos gerados pelas melhorias implementadas na utilização do modelo de melhoria contínua;
- O *Lean* atua ao reduzir desperdícios e gerar valor para o cliente, utilizando ferramentas de mapeamento de fluxo de valor. Envolve todos os níveis de hierarquia, possibilitando uma cultura de melhoria contínua dentro da empresa;
- O *Six Sigma* possibilita diminuir a variabilidade e os defeitos, levando à estabilização e uniformização de processos. As suas ferramentas baseadas na análise de dados e em estatística contribuem para a mensurabilidade das melhorias implementadas, criando rigor e disciplina no modelo de melhoria contínua.

Apesar das suas complementaridades, existem diferenças entre as metodologias, que podem vir a dificultar a sua integração num modelo metodológico. A Tabela 2.11 apresenta estas diferenças, sendo que as diferenças entre o *Lean* e o SS são apresentadas por Pacheco (2014), as diferenças entre o *Lean* e a TOC são listadas por Paz (2015) e as diferenças entre o SS e a TOC são listadas por Okimura (2013).

Tabela 2.11 - Diferenças entre as 3 metodologias fundamentais de melhoria contínua

	Six Sigma	Lean
Teoria das Restrições	<p>Visão sistémica em que o foco inicial é na restrição do sistema e, posteriormente, se trabalha nos recursos interligados com a restrição</p> <p>Foco no problema (nível local do sistema)</p> <p>Baseada na análise de dados (análise quantitativa). Útil na resolução de questões técnicas</p> <p>Identifica a causa raiz do problema com ferramentas da qualidade tradicionais e com pesquisas e <i>brainstorming</i>. Apropriado para sistemas relativamente simples</p> <p>Baseada em ferramentas lógicas (análise qualitativa). Útil para lidar com dilemas ou conflitos</p> <p>Identifica a causa raiz do problema através do processo de raciocínio, utilizando a Árvore da Realidade Atual para analisar diversos problemas do sistema e construir uma lógica de causa e efeito para identificar as causas raiz comuns de todos os problemas</p> <p>Inicialmente, trabalha para construir processos logísticos robustos para lidar com a variabilidade existente. De seguida, escolhe o local onde a redução da variabilidade irá gerar maiores ganhos</p> <p>Centrada no gerenciamento da restrição, tanto interna (recurso com restrição de capacidade) como externa (restrição de mercado)</p>	<p>Redução de custos é secundária: A Prioridade é a geração de ganhos (aumento de vendas)</p> <p>Redução de custos é secundária. Geração de ganhos (aumento de vendas) é prioridade</p> <p>Apenas a eliminação da restrição tem impacto imediato</p> <p>Os recursos estão partilhados por linhas de produto ou cadeias de valor</p> <p>O tempo perdido numa restrição representa <i>throughput</i> (ganhos) perdido em todo o sistema: Tempo ganho em não restrições não gera valor</p> <p>Uma reserva de <i>stock</i> é medida em unidades temporais</p> <p>Defende a redução do fluxo ao máximo, sem comprometer as necessidades do processo</p> <p>A dimensão do lote de processo e de transferência são diferentes</p> <p>Aceita a variação do processo e a incerteza do mercado, mas protege o sistema para ambos</p>
	<p>Centra-se na redução da variabilidade nos processos</p> <p>Centrada na criação de valor para o cliente (assegurar que os produtos e serviços entregues atendam ou excedam as especificações ou exigências dos clientes)</p> <p>Centrada na criação de valor para o cliente (assegurar que os produtos e serviços entregues atendam ou excedam as especificações ou exigências dos clientes)</p> <p>Os recursos são tipicamente organizados por produtos específicos</p> <p>Todos os tipos de redução de desperdício são desejados</p> <p>Não há diferenciação entre restrição e não restrição; Todas as mudanças são igualmente importantes</p> <p>Uma reserva de <i>stock</i> é medida em quantidades físicas</p> <p>Defende o fluxo unitário de componentes (<i>One-Piece-Flow</i>)</p> <p>Não há diferenciação entre lote de processo e lote de transferência</p> <p>Procura eliminar toda a variabilidade, não aceitando a incerteza do mercado</p> <p>Adequada para sistemas com variabilidade e <i>downtimes</i> reduzidos</p>	<p>Redução de custos é secundária: A Prioridade é a geração de ganhos (aumento de vendas)</p> <p>Redução de custos é secundária. Geração de ganhos (aumento de vendas) é prioridade</p> <p>Apenas a eliminação da restrição tem impacto imediato</p> <p>Os recursos estão partilhados por linhas de produto ou cadeias de valor</p> <p>O tempo perdido numa restrição representa <i>throughput</i> (ganhos) perdido em todo o sistema: Tempo ganho em não restrições não gera valor</p> <p>Uma reserva de <i>stock</i> é medida em unidades temporais</p> <p>Defende a redução do fluxo ao máximo, sem comprometer as necessidades do processo</p> <p>A dimensão do lote de processo e de transferência são diferentes</p> <p>Aceita a variação do processo e a incerteza do mercado, mas protege o sistema para ambos</p>
Lean	<p>Envolve poucos membros específicos constituintes da empresa</p> <p>Foco na redução da variabilidade a partir do padrão definido, podendo acabar por desprezar as exigências do cliente</p> <p>Difícil implementação por parte dos trabalhadores de nível médio da organização</p>	<p>Envolve todos os níveis da empresa</p> <p>Foco nas exigências do cliente</p> <p>Facilmente aplicável por todos os trabalhadores da organização, incentivando equipas multifuncionais e grupos de melhoria contínua</p>

Além das diferenças referidas na Tabela acima, acrescenta-se ainda que, segundo um estudo de Watson & Patti (2008) a Teoria das Restrições, para além de ser mais flexível a

variações, apresenta um *lead time* mais reduzido e necessita, em média, de 50% do inventário utilizado em sistemas *Lean* para a mesma produtividade.

A acrescentar, Okimura (2013) relata as discordâncias entre a TOC e a integração *Lean Six Sigma*, bem como qual a metodologia mais adequada consoante o tipo de sistema produtivo, o qual é exposto na Tabela 2.12.

Tabela 2.12 - Diferenças entre Teoria das Restrições e *Lean Six Sigma*

[Adaptado: Okimura (2013), p.78]

Teoria das Restrições	<i>Lean Six Sigma</i>
Linha não balanceada (adequada a sistemas com variabilidade)	Linha balanceada (adequada a sistemas em que a variação da procura, do tempo de processo e do <i>mix</i> de produtos é reduzida)
Trabalho com o <i>Road Runner Behavior</i> (é mais flexível, ao permitir que a restrição mude entre recursos, aleatoriamente e sem previsibilidade)	Trabalho com o <i>Takt Time</i> (exige operadores dedicados a tarefas específicas, uma procura constante e carga de trabalho repetitiva para reduzir a variabilidade)
Sinal de corda DBR (adequado a sistemas de trabalho repetitivo, manutenção e contextos <i>job shop</i> )	Sinal de <i>kanban</i> (aplicável a sistemas de produção repetitiva; no entanto, não é indicado para contextos de manutenção, reparação, inspeção e <i>job shop</i> )
Reposição com base no tempo	Reposição com base na quantidade

Caracterizadas as divergências entre as abordagens e a que sistemas são mais adequadamente aplicáveis, entende-se a importância da perceção do sistema em estudo, para que seja possível decidir seguir a abordagem TOC ou LSS, sendo que, no caso do sistema ser balanceado, apenas se poderão aplicar dois dos passos da TOC ao aplicar o modelo de melhoria contínua: Identificar (1º passo) e Elevar (4º passo).

## 2.2.1 Integração *Lean* e *Six Sigma*

Das várias sinergias existentes, a mais comum é a colaboração das abordagens *Lean* e *Six Sigma*, que teve os seus primórdios nos anos 2000 (Sousa et al., 2023). A incorporação destas duas metodologias de melhoria contínua é possível pela complementaridade evidenciada na Tabela 2.6 e permite alcançar os resultados de ambas, ou seja, melhorar a qualidade dos produtos, reduzir os defeitos e eliminar os desperdícios dos processos (Singh et al., 2021a; Singh et al., 2021b). Esta integração pretende, portanto, atingir todas as oportunidades de melhoria possíveis num sistema, beneficiando da quantificação e da metodologia científica característica do SS, havendo constatações de melhores resultados na integração *Lean Six Sigma* (LSS) do que na implementação de cada uma das abordagens em separado (Arunrao Shahade & Jha, 2021; Pacheco, 2014). Desta maneira, o *Six Sigma* fornece ferramentas para

resolver os problemas identificados pela aplicação da metodologia *Lean* e deve ser usado para impulsionar a implementação das ferramentas *Lean*. Assim, o SS contribui para o *Lean* com uma abordagem mais científica e o *Lean* contribui para o SS com uma visão mais abrangente dos sistemas, considerando os efeitos dos desperdícios no sistema de forma global.

O LSS pode ser aplicado segundo os seguintes modelos (Almeida, 2021):

- *Lean* como metodologia abrangente, com incorporação de SS;
- SS como metodologia abrangente (estrutura de aplicação DMAIC), com utilização de ferramentas *Lean*;
- *Lean* e SS como metodologias diferentes, utilizadas consoante o problema;
- *Lean* e SS como metodologias paralelas, aplicadas num mesmo problema;
- *Lean* e SS como metodologias paralelas, implementadas em série;
- *Lean* e *Six Sigma* como uma só metodologia, implementadas simultaneamente.

Seguidamente, serão analisados os modelos LSS desenvolvidos e presentes na literatura. Estes estão distribuídos por ordem cronológica na Figura 2.10.

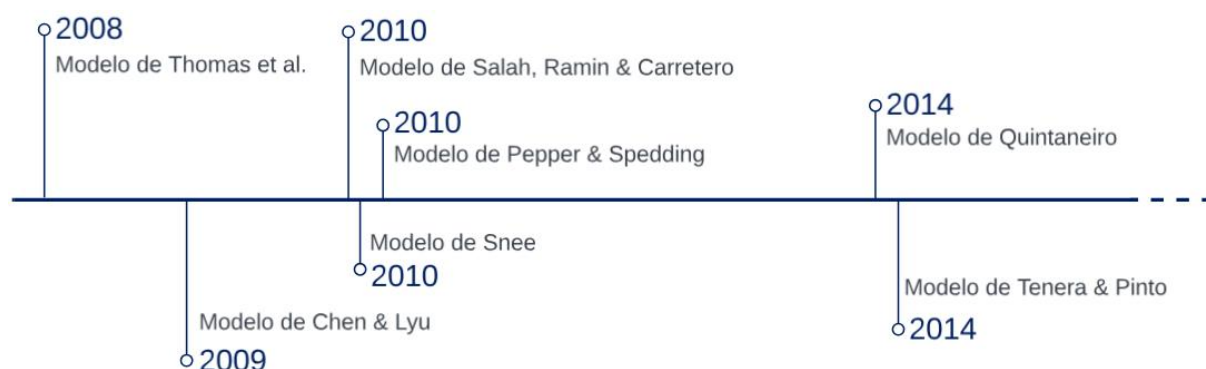


Figura 2.10 - Modelos LSS: Cronograma

Já que nem todos os modelos seguem a mesma estrutura, seguindo alguns uma perspetiva estratégica do negócio, sendo mais genéricos nas suas etapas, outros seguem os passos do ciclo DMAIC, enquanto alguns criam a sua própria estrutura diferenciada dos restantes, será efetuada uma análise comparativa dos mesmos na Tabela 2.13.

Tabela 2.13 - Análise comparativa da estrutura dos modelos LSS

Modelo	Estrutura genérica	Estrutura baseada no ciclo DMAIC	Estrutura distinta
Modelo de Thomas et al. (2008)			X
Modelo de Chen & Lyu (2009)		X	
Modelo de Salah, Rahim & Carretero (2010)		X	
Modelo de Snee (2010)	X		
Modelo de Pepper & Spedding, (2010)	X		
Modelo de Quintaneiro (2014)			X
Modelo de Tenera & Pinto (2014)		X	

Após a comparação da lógica seguida por cada um dos modelos, será relevante entender quais os impactos nas áreas e empresas em que os modelos foram aplicados. Todos os modelos foram aplicados a sistemas produtivos, exceto o modelo de Quintaneiro (2014) que foi aplicado na área da logística e o modelo de Tenera & Pinto (2014) que foi aplicado à gestão de projetos. Os resultados obtidos pela aplicação dos modelos LSS apresentados estão presentes na Tabela 2.14.

Tabela 2.14 - Resultados da aplicação de modelos LSS

Modelo	Empresa	Resultados
Modelo de Thomas et al. (2008)	Fabricante de assentos para a indústria automóvel e aeroespacial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição da taxa de rejeições em 55%</li> <li>• Aumento do OEE de 34% para 55%</li> <li>• Aumento de 2800 partes produzidas por ano</li> <li>• Redução da indisponibilidade de equipamentos de 5% para 2%</li> </ul>
Modelo de Chen & Lyu (2009)	Fabricante de ecrãs táteis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de defeitos em cerca de 17%</li> </ul>
Modelo de Salah, Rahim e Carretero (2010)	Nenhum caso de aplicação foi encontrado	
Modelo de Snee (2010)	Nenhum caso de aplicação foi encontrado	
Modelo de Pepper & Spedding (2010)	Nenhum caso de aplicação foi encontrado	
Modelo de Quintaneiro (2014)	Visteon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de ciclo de transporte em 40%</li> <li>• Diminuição da percentagem de <i>scrap</i> de 43,6% para 22%</li> <li>• Aumento do OEE de 44% para 60,5%</li> </ul>
Modelo de Tenera & Pinto (2014)	Empresa de telecomunicações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proposta de 6 melhorias pontuadas positivamente segundo os critérios: custo de implementação, rapidez da implementação, impacto no nível de resolução de problemas e risco de implementação</li> </ul>

Confere-se que qualquer um dos modelos em que foram encontrados casos de aplicação gera resultados positivos na produtividade dos sistemas alvo.

Snee (2010) defende que a utilização dos modelos em conjunto apresenta mais benefícios que a implementação destes em separado, enumerando os seguintes pontos:

- Criam resultados financeiros;
- Envolvem a liderança de topo;
- Utilizam um método disciplinado (DMAIC);
- Os projetos são concluídos de forma rápida;
- Obtêm uma definição precisa de sucesso;
- Criam uma infraestrutura humana de *belts*;
- Focam-se nos clientes e nos processos;
- Utilizam uma abordagem estatística rigorosa.

Apesar dos modelos LSS apresentarem melhores resultados quando comparados com o *Lean* ou o *Six Sigma* em separado, mesmo assim, verificam-se casos em que o modelo de integração LSS não atinge os valores esperados. Isto porque, tanto o *Lean* como o *Six Sigma*, tentam melhorar todos os pontos do sistema, não se focando inteiramente no local crítico, que ao ser melhorado, vai elevar a capacidade do sistema (Sproull, 2023). Adicionalmente, por vezes, estes modelos falham por (Carvalho, 2019):

- Falta de alinhamento entre as duas abordagens;
- As metodologias estarem mal definidas ao serem integradas sem uma justificação lógica;
- Desalinhamento com a política da empresa;
- Priorizarem a satisfação do cliente, o que pode originar a seleção de um projeto tendo apenas em consideração o menor custo de implementação;
- Poder ser requerido subordinar uma das metodologias, colocando a outra como subordinante.

### 2.2.2 Integração TOC e *Lean*

As metodologias TOC e *Lean*, apesar de se focarem em bases distintas, apresentam ideias complementares que permitem aumentar a competitividade das empresas quando utilizadas em conjunto numa metodologia TOCLEAN. Esta integração focaliza a eliminação de desperdícios no recurso restritivo do sistema, sendo a TOC utilizada para focalizar, enquanto o *Lean* é utilizado para reduzir desperdícios (Lopez-Osorio et al., 2022).

Segue-se a análise comparativa de modelos de integração das duas metodologias, que são expostos cronologicamente na Figura 2.11.

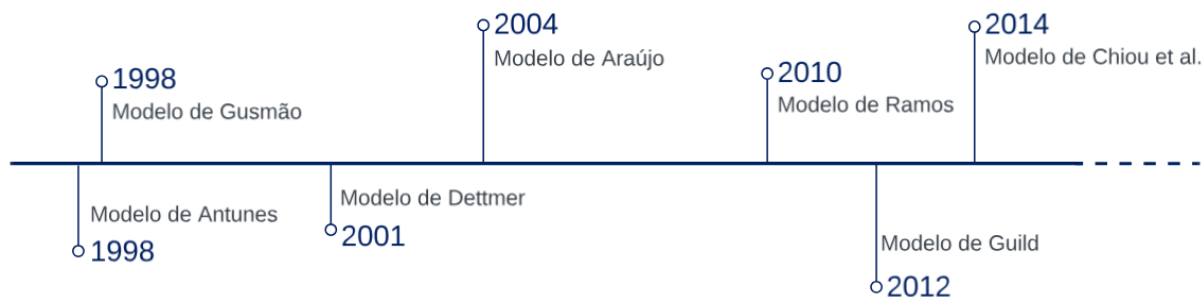


Figura 2.11 - Modelos TOCLEAN: Cronograma

Os modelos apresentados têm todos a característica de que a melhoria do sistema é focada na restrição. No entanto, estes divergem na adoção da estrutura dos 5 Passos de Focalização, dos 5 Princípios *Lean*, numa estrutura mais genérica ou numa estrutura independente das já referidas. Estas distinções são apresentadas na Tabela 2.15.

De referir que o modelo de Antunes (1998) tem a característica diferenciadora de recorrer a *softwares* de simulação para acompanhar a conceção das melhorias.

Tabela 2.15 - Análise comparativa da estrutura dos modelos TOCLEAN

Modelo	Estrutura dos 5FS	Estrutura dos 5 Princípios <i>Lean</i>	Estrutura genérica	Estrutura distinta
Modelo de Antunes (1998)				X
Modelo de Gusmão (1998)	X			
Modelo de Dettmer (2001)	X			
Modelo de Araújo (2004)			X	
Modelo de Ramos (2010)	X			
Modelo de Guild (2012)				X
Modelo de Chiou et al. (2014)		X		

Apresentadas as diferentes abordagens entre modelos, segue-se a apresentação de resultados obtidos ao aplicar os modelos apresentados (Tabela 2.16). Os casos de aplicação encontrados foram todos em sistemas produtivos.

Tabela 2.16 - Resultados da aplicação de modelos TOCLean

Modelo	Empresa	Resultados
Modelo de Antunes (1998)	Nenhum caso de aplicação foi encontrado	
Modelo de Gusmão (1998)	Nenhum caso de aplicação foi encontrado	
Modelo de Dettmer (2001)	Nenhum caso de aplicação foi encontrado	
Modelo de Araújo (2004)	Empresa da indústria mobiliária	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição do lead time em 25%</li> <li>• Diminuição da movimentação em 25%</li> <li>• Aumento da produtividade em cerca de 43%</li> <li>• Diminuição de defeitos em 26%</li> </ul>
Modelo de Ramos (2010)	DELPHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação de cerca de 25% do inventário</li> </ul>
Modelo de Guild (2012)	Nenhum caso de aplicação foi encontrado	
Modelo de Chiou et al. (2014)	Fabricante de componentes da indústria de máquinas e ferramentas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição da distância de transporte em 69%</li> <li>• Diminuição do número de operações em 31%</li> <li>• Diminuição do custo por unidade de tempo em 32%</li> <li>• Aumento da eficiência em 7%</li> <li>• Diminuição do <i>lead time</i> em 19%</li> <li>• Diminuição da taxa de tempo de entrega em 51%</li> </ul>

Verifica-se que, nos casos de aplicação encontrados, os modelos TOCLean tiveram impactos positivos na produtividade dos sistemas, através da eliminação de desperdícios.

Os modelos integradores das abordagens TOC e *Lean* têm o benefício de se focarem num ponto crítico do sistema, agindo no recurso que influencia o *output* do mesmo e não focalizando esforços em locais da produção que não vão ter impacto imediato no nível de *output*. Ao mesmo tempo, estes modelos são beneficiados pela utilização das ferramentas versáteis características do *Lean*, que possibilitam a eliminação dos desperdícios e o fluxo contínuo, neste caso aplicadas consoante a restrição.

### 2.2.3 Integração TOC e *Six Sigma*

A conjugação da TOC e do SS (TOCSS) é utilizada pelas empresas para alcançar as suas necessidades, apesar de estas se basearem em metodologias distintas. Com esta integração, o SS colabora com a capacidade para resolver problemas complexos através da incorporação de soluções profundas e a TOC contribui com a sua capacidade de identificação das restrições no sistema e geração de ganhos para a firma (Okimura, 2013). Assim, reduz-se o risco de identificar um projeto, segundo a abordagem SS, que não impacte no desempenho global do sistema e recorre-se à melhoria da capacidade da restrição do sistema, como referido pela abordagem TOC, recorrendo aos métodos quantitativos SS.

Com a introdução à integração TOCSS, segue-se a análise de três modelos baseados nesta integração. Antecedente à sua análise comparativa, está a Figura 2.12 que os representa por ordem cronológica.



Figura 2.12 - Modelos TOCSS: Cronograma

Os modelos integrados TOC e SS referidos na figura anterior seguem tanto as etapas dos 5FS como as etapas do ciclo DMAIC, sendo que no caso do modelo de Ehie & Sheu, (2005) as fases do ciclo DMAIC se encontram integradas nos passos da TOC. No caso do modelo de Jin et al. (2009), este intercala entre as etapas dos 5FS e do ciclo DMAIC. O modelo de Soni (2011), apesar de constituído por 4 fases, estas integram os passos dos 5FS e do ciclo DMAIC.

Na Tabela 2.17, constam casos de aplicação dos modelos referidos e respetivos resultados obtidos.

Tabela 2.17 - Resultados da aplicação de modelos TOCLSS

Modelo	Empresa	Resultados
<b>Modelo de Ehie &amp; Sheu (2005)</b>	ABC Corporation - Axle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poupança de 200.000\$ por ano</li> </ul>
<b>Modelo de Jin et al. (2009)</b>	Fabricante de motores de automóveis V8 monobloco	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento da capacidade de 18,7 peças/hora para 22,4 peças/horas</li> <li>Redução de 60% do WIP</li> <li>Redução de 0,73% da variabilidade</li> </ul>
<b>Modelo de Soni (2011)</b>	Nenhum caso de aplicação foi encontrado	

Ao observar os resultados obtidos, verifica-se um aumento no rendimento dos sistemas produtivos alvo de aplicação dos modelos TOCSS, através da redução de variabilidades.

Após a apresentação dos modelos já desenvolvidos e impactos na sua aplicação, passam a ser apresentadas as vantagens da utilização de um modelo integrado TOCSS (Pacheco, 2014):

- São usadas ferramentas estatísticas para analisar, medir e controlar a restrição, facilitando a perceção do problema e a tomada de decisão;
- O primeiro ponto a ser analisado é a restrição, garantindo o aumento dos ganhos financeiros da empresa;

- A seleção dos projetos *Six Sigma* é efetuada consoante a visão global da TOC, gerando mais lucros.

No entanto, Jin et al. (2009) refere algumas desvantagens desta integração:

- A redução da variabilidade nem sempre leva à elevação da capacidade da restrição;
- Ao elevar a taxa de produção na restrição através da redução de variabilidade, pode ser gerado um maior índice de rejeições nos processos a jusante do mesmo, já que as ações apenas foram tomadas na restrição;
- Incerteza na sequência de aplicação dos princípios de cada método.

## 2.2.4 Integração TOC, *Lean* e *Six Sigma* (TLS)

Já estudados os modelos de integração parcial de melhoria contínua, é agora apresentada a integração das três metodologias discutidas. Ainda que a TOC, o *Lean* e o SS tenham focos e ferramentas distintos, estas metodologias vão de encontro aos mesmos objetivos: a melhoria do desempenho financeiro das empresas através de uma maior satisfação do cliente, de uma maior participação dos trabalhadores e de uma melhoria contínua em todo o sistema, sendo essa melhoria alcançada por meios diferentes em cada abordagem (Gupta et al., 2024). Assim, surge a ideia de integração destas três ao concentrar os princípios, ferramentas e técnicas *Lean* e *Six Sigma* (LSS) no recurso limitante do rendimento, tal como defendido pela Teoria das Restrições (Sproull, 2019).

Consoante Carvalho (2019), as ferramentas para identificação de variabilidades são as apresentadas na Tabela 2.18. As ferramentas propostas para identificar e reduzir desperdícios estão presentes na Tabela 2.19.

Tabela 2.18 - Ferramentas para variabilidades

[Fonte: Carvalho (2019), p.66]

Ferramentas a utilizar	Objetivos
<b>Cálculo do DPMO</b>	Comparar DPMO atual com 3,4 DPMO's.
<b>Requisitos Críticos para a Qualidade (CTQ) e <i>Voice of Customer</i></b>	Identificar os requisitos dos Cliente que devem ser mensuráveis e ter uma tolerância bem definida.
<b>Diagrama de Ishikawa (ou Causa-efeito)</b>	Identificar e avaliar as causas potenciais de um problema / fonte de variabilidade.

Tabela 2.18 - Ferramentas para variabilidades [continuação]

[Fonte: Carvalho (2019), p.66]

Ferramentas a utilizar	Objetivos
<b>Diagrama de Pareto</b>	Identificar as causas ou problemas que mais afetam o processo e que, por isso, deve ser prioritária a sua resolução.
<b>Desenho de Experiências (DoE)</b>	Para identificar principais causas para determinado problema, através de uma experiência planeada em que se fazem variar fatores para verificar de que forma varia a saída.
<b>Tolerance stack-up</b>	Através da adição de tolerâncias encontra-se a tolerância total de uma peça que deverá ser comparada com os limites de desempenho ou intervalo disponível de modo a verificar se o design funcionará corretamente.
<b>Método Taguchi</b>	Identificar o fator perda do produto, isto é, todo o ruído introduzido no produto, e otimizá-lo por técnicas estatísticas.
<b>FMEA</b>	Ao identificar os principais problemas, através do diagrama de Pareto, utiliza-se o FMEA para identificar as causas e os efeitos para os problemas identificados e calcular o Risco. Por fim são propostas ações corretivas.
<b>Simulação</b>	Permitirá avaliar como é que as ações, tanto ao nível da variabilidade como do desperdício, melhoraram, ou não o sistema produtivo.

Tabela 2.19 - Ferramentas por tipo de desperdício

[Adaptado: Carvalho (2019), p.64]

Tipo de desperdício	Razão aparente	Ferramentas de identificação	Ferramentas / conceitos de melhoria
<b>Produção em excesso</b> (produz-se em excesso ou antes do necessário)	Para evitar longos tempos de mudança de <i>setup</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VSM</li> <li>• Simulação</li> <li>• SMED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SMED</li> </ul>
	Por existir baixo grau de confiabilidade do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VSM</li> <li>• Simulação</li> <li>• Estudo do tempo e razão de paragens não planeadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção planeada</li> <li>• Manutenção autónoma</li> </ul>
	Por ser conhecida alguma deficiência na qualidade do processo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DPMO</li> <li>• <i>Critical to quality</i></li> <li>• <i>Voice of Customer</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Poke-yoke</i></li> <li>• <i>Jidoka</i></li> </ul>
	Por ser frequente erros de cálculo na determinação da procura ou planeamento da produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VSM</li> <li>• Simulação</li> <li>• Cálculo do <i>Takt-time</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Kanban</i></li> <li>• Produção <i>pull</i></li> </ul>
<b>Tempo de espera</b> (tempo ocioso para operador, material ou informação)	Por ocorrer com frequência avarias nos equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VSM</li> <li>• Simulação</li> <li>• Estudo do tempo e razão de paragens não planeadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção planeada</li> <li>• Manutenção autónoma</li> <li>• Reuniões <i>Kaizen</i></li> </ul>
	Por existirem longos tempos de mudança de <i>setup</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VSM</li> <li>• Simulação</li> <li>• SMED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SMED</li> </ul>
	Por ser necessário percorrer longas distâncias para a realização de tarefas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de esparquite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Re-desenho do <i>layout</i></li> <li>• <i>Layout</i> celular</li> </ul>
	Por haver falta de matéria-prima ou recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VSM</li> <li>• Simulação</li> <li>• Cálculo do <i>Takt-time</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Kanban</i></li> <li>• Produção <i>pull</i></li> </ul>

Tabela 2.19 - Ferramentas por tipo de desperdício (continuação)

[Fonte: Carvalho (2019), p.64]

Tipo de desperdício	Razão aparente	Ferramentas de identificação	Ferramentas / conceitos de melhoria
<b>Tempo de espera</b> (tempo ocioso para operador, material ou informação)	Por haver, constantemente, interrupções na sequência de operações	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudo do trabalho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Standard work</i> e fluxo contínuo</li> <li>Balanceamento do trabalho</li> </ul>
	Por existirem elevadas filas de espera no gargalo	<ul style="list-style-type: none"> <li>VSM</li> <li>Simulação</li> <li>Cálculo do <i>Takt-time</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Filas de espera</li> <li>Reuniões <i>Kaizen</i></li> </ul>
<b>Transporte</b> (Tempo de movimentação de material de uma estação para outra ou para dentro ou para fora do local de armazenamento de stock elevado)	Porque o transporte utilizado tem pouca capacidade, obrigando a várias viagens	<ul style="list-style-type: none"> <li>VSM</li> <li>Simulação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reuniões <i>Kaizen</i></li> <li>Relatório A3</li> <li>Fluxo contínuo</li> <li>Produção puxada</li> </ul>
	Por ser necessário percorrer longas distâncias	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diagrama de esparquete</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Re-desenho do <i>layout</i></li> <li>Possibilidade de <i>layout</i> celular</li> </ul>
<b>Processos inadequados</b> (processos sem valor acrescentado para o Cliente)	Por não se conhecer aquilo que o Cliente valoriza	<ul style="list-style-type: none"> <li>Voice of Customer</li> <li>Critical to quality</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo <i>Kano</i></li> </ul>
	Porque o espaço e a ordem de trabalho é desadequado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudo do trabalho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Standard work</i></li> <li>Gestão Visual</li> <li>Balanceamento do trabalho</li> <li>5S</li> <li><i>Lean design</i></li> <li>Relatório A3</li> </ul>
<b>Stocks</b> (Recursos em espera e custos de posse elevados)	Porque existe mais matéria-prima do que a necessária porque os fornecedores apresentam elevados <i>lead times</i> ou oferecem promoções de quantidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliação de fornecedores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Kanban externo</i></li> </ul>
	Porque existe quantidade elevada de produto acabado relativamente aos pedidos do Cliente	Para este problema, verificar possíveis razões e ferramentas de identificação e melhoria em " <b>Produção em excesso</b> "	
	Porque existe elevado WIP entre estações	<ul style="list-style-type: none"> <li>VSM</li> <li>Simulação</li> <li>Cálculo do <i>Takt-time</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Produção puxada</li> <li><i>Kanban</i></li> <li>Balanceamento do trabalho</li> <li>Relatório A3</li> </ul>
<b>Defeitos</b> (Existe quantidade elevada de defeitos, erros e retrabalhos)	Por baixa confiabilidade de equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>VSM</li> <li>Simulação</li> <li>Estudo do tempo e razão de paragens não planeadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção planeada</li> <li>Manutenção autónoma</li> <li>Controlo estatístico do Processo</li> </ul>
	Por erros humanos em operações manuais	<ul style="list-style-type: none"> <li>DPMO</li> <li>Estudo do trabalho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Standard work</i></li> <li>Gestão Visual</li> <li><i>Poka-yoke</i></li> <li><i>Jidoka</i></li> </ul>
	Elevada variabilidade do processo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simulação</li> <li>Análise estatística e ferramentas <i>Six Sigma</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ferramentas <i>Six Sigma</i></li> </ul>

Tabela 2.19 - Proposta de ferramentas por tipo de desperdício (continuação)

[Fonte: Carvalho (2019), p.64]

Tipo de desperdício	Razão aparente	Ferramentas de identificação	Ferramentas / conceitos de melhoria
Movimentações desnecessárias dentro de um posto de trabalho	Por má organização do posto de trabalho e constante procura por materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudo de Trabalho</li> <li>Diagrama de esparquite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Standard work</i></li> <li>Gestão Visual</li> <li>Disposição no ponto de uso</li> <li>5S</li> <li>Reuniões <i>Kaizen</i></li> <li>Relatório A3</li> </ul>
	<i>Layout</i> inapropriado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diagrama de esparquite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Re-desenho do <i>layout</i></li> <li><i>Layout</i> celular</li> </ul>
Desperdício de conhecimentos e potencial humano	Desmotivação de funcionários; Pouco poder de decisão; Renúncia a novas ideias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudo de Trabalho</li> <li>Questionários</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Constituição de equipas <i>Kaizen</i></li> <li>Prémios de equipas</li> <li>Maior autonomia e responsabilidade do operador</li> <li><i>Standard Work</i></li> <li><i>Jidoka</i></li> </ul>

Proceder-se-á agora à análise dos modelos TLS já desenvolvidos e explorados que se encontram na Figura 2.13.

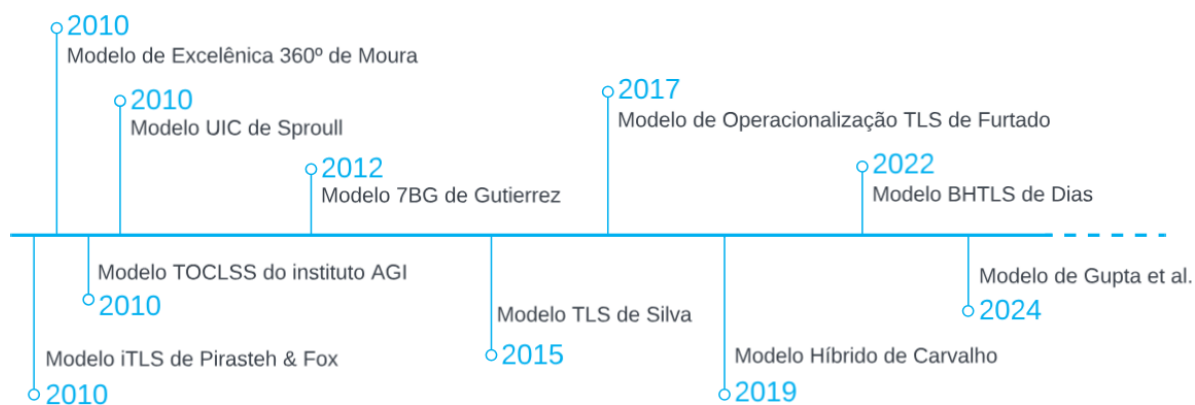


Figura 2.13 - Cronograma dos modelos TLS desenvolvidos

A Tabela 2.20 compara os modelos TLS já desenvolvidos em relação à sua estrutura, ferramentas e lógica utilizada.

Tabela 2.20 - Análise comparativa da estrutura dos modelos TLS

Modelo	Estrutura dos 5FS	Gestão Por Processos	Gestão estratégica	3 ciclos de melhoria (TOC, Lean e SS)	Aplicação do <i>Thinking Process</i>	Utilização de Simulação	Aplicação da metodologia <i>Hoshin Kanri</i>
Modelo iTLS de Pirasteh & Fox (2010)	X						
Modelo de Excelência 360° de Moura (2010)		X	X				
Modelo TOCLSS do instituto AGI (2010)			X				
Modelo UIC de Sproull				X			
Modelo 7BG de Gutierrez (2012)	X						
Modelo TLS de Silva (2015)	X					X	
Modelo de Operacionalização TLS de Furtado (2017)	X					X	
Modelo Híbrido de Carvalho (2019)	X				X	X	
Modelo BHTLS de Dias (2022)			X		X		X
Modelo de Gupta et al. (2024)	X						

Ao analisar a Tabela 2.20, verifica-se que os modelos que seguem os 5FS são os mais comuns. O Modelo de Excelência 360° de Moura (2010) diferencia-se dos restantes pela utilização da Gestão Por Processos e por se guiar pela implementação de projetos de melhoria. O Modelo UIC (*Ultimate Improvement Cycle*) segue três ciclos de melhoria, cada um dedicado a uma das metodologias de melhoria contínua. Três dos modelos apresentados têm uma dimensão estratégica, sendo que o Modelo BHTLS de Dias (2022) utiliza o *Hoshin Kanri*. Este modelo e o Modelo Híbrido de Carvalho (2019) são os únicos que integram o *Thinking Process* nas metodologias. O Modelo TLS de Silva (2015), o Modelo de Operacionalização TLS de Furtado (2017) e o Modelo Híbrido de Carvalho (2019) diferenciam-se por recorrerem à simulação do sistema para encontrarem a restrição.

Será de referir que o Modelo TLS de Silva (2015) é baseado no Modelo UIC de Sproull (2010). Furtado (2017) baseia-se em Silva (2015) para o seu modelo de estudo, diferenciando-se deste em apenas algumas ferramentas. Carvalho (2019) utiliza estes três modelos para a

conceção do Modelo Híbrido. O Modelo BHTLS de Dias (2022) é a última iteração até à data destes modelos.

Elaborada a análise dos modelos de integração TLS, será efetuada uma comparação dos resultados obtidos ao aplicar cada um dos modelos em diferentes sistemas (Tabela 2.21). Esta comparação, é apresentada com base na análise efetuada por Carvalho (2019).

Tabela 2.21 - Resultados da aplicação de modelos TLS

[Adaptado: Carvalho (2019)]

Modelo	Empresa	Resultados
Modelo iTLS	Yamana Gold Inc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do número de unidades rejeitadas em 14%</li> </ul>
	Votorantim Metais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do OEE em 2%</li> <li>• Aumento do nível de recuperação de resíduos em 4,5%</li> <li>• Melhoria da produção em 10% para satisfazer 100% da procura do cliente</li> <li>• Aumento dos lucros em 5%</li> </ul>
	Empresa de produção de componentes eletrónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de inventário em 50%</li> </ul>
	Linha de montagem de válvulas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da qualidade, com a redução da probabilidade de usar material não conforme</li> <li>• Diminuição do tempo de ciclo em 71,8%</li> <li>• Diminuição do tempo de <i>picking</i> em 50%</li> <li>• Redução dos desperdícios, organização da zona de trabalho, flexibilização da linha de produção e inserção de um processo S&amp;OP</li> </ul>
Modelo de Excelência 360º	Aglomerados Cotopaxi S.A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da margem bruta em 40%</li> <li>• Retorno sobre o investimento de 7:1</li> </ul>
Modelo TOCLSS	Republic Industries International.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de <i>stock</i> excessivo em 40%</li> <li>• Aumento da quantidade de produto acabado em 27%</li> <li>• Aumento quantidade de vendas em 20%</li> </ul>
	U.S. Navy and Marine Corps	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do número de horas de trabalho em 46%</li> <li>• Redução do custo para o cliente em 36%</li> <li>• Diminuição do tempo de reposição de materiais em 92%</li> </ul>
	TIMCO - Aviation Services	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da quantidade de projetos finalizados</li> <li>• Redução do tempo de manutenção</li> <li>• Sincronização e priorização do trabalho</li> </ul>
	Process Equipment Company	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevação dos ganhos</li> <li>• Redução do WIP</li> <li>• Redução dos prazos de entrega</li> <li>• Diminuição dos tempos de <i>setup</i></li> </ul>
Modelo UIC	Fabricante de carroçarias de camiões	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do atraso do processo de pedido de cotação em 89%</li> <li>• Redução do tempo de processamento de pedidos da engenharia de 40 dias para 48 horas</li> </ul>
Modelo 7GB	Nenhum caso de aplicação foi encontrado, embora se tenha conhecimento de que a firma Vulkan o aplica atualmente	
Modelo TLS de Silva (2015)	Amorim	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição do tempo de ciclo da restrição em 27%</li> <li>• Diminuição do tempo para o abastecimento das máquinas de lavação</li> </ul>
Modelo TLS de Carvalho (2019)	Visteon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da capacidade em 7,24%</li> </ul>

Tabela 2.21 - Resultados obtidos ao utilizar os modelos TLS apresentados (continuação)

[Adaptado: Carvalho (2019)]

Modelo	Empresa	Resultados
Modelo BHTLS de Dias (2022)	Amorim	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planeamento estratégico da organização</li> <li>Identificação dos objetivos vitais da organização</li> <li>Desenho dos planos de ação necessários à sua concretização</li> <li>Implementação dos planos de ação</li> </ul>
Modelo TLS de Gupta et al. (2024)	DC Company	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redução da taxa de defeitos em 0,2%</li> <li>Aumento do <i>throughput</i> em 16.341 unidades/ano através de reduções no tempo de ciclo, na taxa de defeitos e no tempo de paragem da máquina</li> </ul>

Ao analisar a Tabela 2.21 é possível concluir que qualquer um dos modelos tem capacidade de gerar melhorias em diversas áreas de aplicação. O facto de estes serem genéricos permite a sua adaptabilidade a diversos sistemas produtivos, projetos e a prestação de serviços. Os modelos apresentados têm em consideração a interdependência do plano estratégico das organizações, o que permite que o modelo seja adaptado a cada caso específico, levando à melhoria da competitividade das organizações. Assim, preenche-se uma lacuna existente em muitos outros modelos, que procuram atuar apenas em atos isolados, sem se alinharem com a estratégia competitiva da firma.

O estudo de Woepfel (2009) afirma o benefício da utilização de sistemas TLS com a sua análise comparativa da redução de custos ao aplicar *Lean*, *Six Sigma* ou TLS. Este estudo, realizado na Sanmina-SCI, comparou a implementação de metodologias distintas de melhoria contínua em 21 fábricas da empresa: 11 utilizaram SS, 4 aplicaram *Lean* e 6 adotaram TLS. A publicação inclui a análise de 100 projetos realizados ao longo de 2 anos e meio e os resultados obtidos são representados na Figura 2.14.

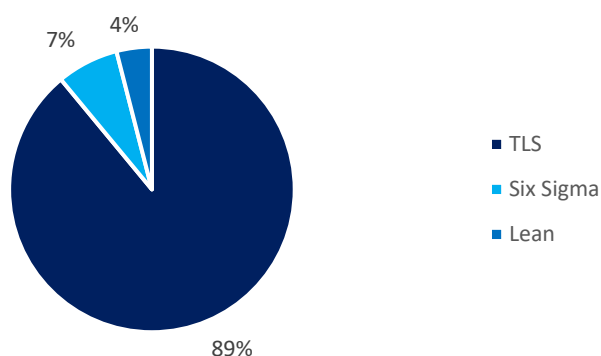


Figura 2.14 - *Lean*, *Six Sigma*, TLS: Colaboração na redução de custos

[Fonte: Silva (2015), p.25]

Verifica-se pelos resultados apresentados que a aplicação de sistemas híbridos TLS colaborou para 89% da redução de custos da empresa, alcançando também a satisfação de operadores e líderes da firma e gerando 15 a 20 vezes melhores resultados de desempenho quando efetuada a comparação com sistemas *Lean* ou *Six Sigma* isolados.

A acrescentar, Inozu (2012) elabora uma lista das vantagens que resultam desta integração. Segue-se então uma síntese das vantagens de utilização de modelos TLS:

1. **Focalização:** A Teoria das Restrições proporciona um foco para o LSS, que não o possui;
2. **Potencialização:** A Teoria das Restrições direciona o método LSS para o ponto de maior impacto no sistema, uma vez que esta considera que um sistema está sempre limitado por uma restrição;
3. **Perdas:** Sendo uma das metas principais do LSS a eliminação/redução de desperdícios, a Teoria das Restrições evita a realização deste esforço em recursos não restritivos, que não influenciam os ganhos do sistema;
4. **Estagnação:** A TOC auxilia o LSS na melhoria contínua do sistema, ao aproveitar a flexibilidade reativa de forma dinâmica às alterações de cenários e prevenir a inércia;
5. **Risco:** A Teoria das Restrições apoia o LSS com uma gestão projetada para enfrentar as consequências da Lei de Murphy “O que pode falhar, vai falhar”;
6. **Avaliação:** A Teoria das Restrições fornece o pré-requisito fundamental para medidas significativas e focadas nas organizações que aplicam LSS, alinhando as métricas com o objetivo da organização e oferecendo incentivos que promovem o comportamento humano desejado;
7. **Ferramentas:** A Teoria das Restrições oferece várias aplicações especializadas e adaptáveis a diversos contextos (por exemplo: logística, finanças, estratégia e marketing);
8. **Análise:** A Teoria das Restrições utiliza abordagens de raciocínio e análise gráfica para explorar a intuição, solucionar problemas e desenvolver novas estratégias para melhorar o desempenho, com o objetivo de atingir a estabilidade, o crescimento e a prosperidade;
9. **Execução:** A *Critical Chain*, da Teoria das Restrições, para a gestão de projetos pode acelerar a execução de projetos LSS;
10. **Win-Win:** A Teoria das Restrições fomenta uma cultura humanística e científica, adotando uma tática *win-win* para resolver conflitos, nos quais as partes

envolvidas se beneficiam e se minimiza a resistência à mudança, ao acelerar a aceitação e aumentar a probabilidade de sucesso da aplicação do LSS;

11. **Integração:** A TOC pretende reduzir a variabilidade, tratar a causa raiz, otimizar o fluxo de valor, procurar a perfeição e eliminar barreiras organizacionais, em sinergia com o LSS;
12. **Resultados:** A colaboração TOC e LSS tem a capacidade de produzir resultados 10 a 20 vezes superiores aos retornos da implementação de LSS isoladamente.

## 2.3 Sistema de Tempos Pré-determinados (MTM)

A necessidade de as organizações permanecerem competitivas no mercado levou à procura de um ajuste nos processos e procedimentos operacionais que levassem a um aumento da produtividade, mantendo a qualidade dos produtos. Dessa forma, a aplicação de métodos operacionais para a padronização do trabalho tornou-se indispensável para a geração de valor e redução de desperdícios no processo produtivo (Lopes et al., 2022).

Um dos métodos utilizados para este fim são os sistemas de tempos pré-determinados. Estes consistem em técnicas de medição de trabalho em que a análise do mesmo é baseada em movimentos básicos humanos, classificados consoante a natureza de cada movimento e as condições em que o movimento é efetuado (Džubáková & Kopták, 2017).

Com a revolução industrial, no século XVIII, inicia-se uma preocupação com o estudo dos tempos das operações. A ideologia do estudo de tempos de trabalho para a otimização do método de trabalho foi introduzida por Frederik Taylor. Em 1901, dedica-se ao estudo da organização do trabalho e é pioneiro no estudo da ciência da gestão, em que defende que o trabalho deve ser executado segundo uma sequência e um tempo pré-programado. Com este contributo, Frank Gilbreth e Lilian Gilbreth procuraram compreender os hábitos de trabalho dos empregados e aumentar a produtividade das indústrias, através da simplificação do trabalho. Para tal, recorrem a filmagens e a cronometragens e dividem e subdividem as operações de trabalho em movimentos ainda mais detalhados que Taylor, defendendo que todos os movimentos humanos estão associados a 17 movimentos básicos (Therbligs). Este é o trabalho que impulsiona o desenvolvimento da ferramenta *Methods Time-Measurement* (MTM), um dos sistemas de tempos pré-determinados mais utilizados nas organizações em todo o mundo.

Métodos de análise de trabalho começam a ser aplicados em maior escala nas indústrias a partir de 1930. Maynard, Schwab e Stegemerten elaboram os fundamentos do MTM ao filmar o trabalho de operadores de vários tipos de indústria. Definem, desta maneira, todos os

movimentos básicos do ser humano, iniciando-se pela descodificação dos movimentos elementares das mãos e dos dedos, bem como as funções do olhar<sup>1</sup> (Associação MTM Portugal, 2010). Mais tarde são introduzidos os movimentos do corpo, das pernas e dos pés. Em 1948, a ferramenta MTM é consolidada com o lançamento do livro *“Methods-Time Measurement”* (Džubáková & Kopták, 2017).

### 2.3.1 Caracterização da Utilização do MTM na Melhoria Contínua

A metodologia MTM, por se focar no aumento da produtividade, enquadra-se com as filosofias de pensamento das metodologias de melhoria contínua. Ao efetuar uma pesquisa do estado da arte da utilização do MTM na melhoria contínua, verificou-se que esta é utilizada num contexto *Lean*, por possibilitar a redução de desperdícios, agindo em diferentes vertentes, uma vez que o MTM se foca nos processos produtivos com características manuais, enquanto que o *Lean* "vê" o processo como um todo (Kuhlang et al., 2011; Oliveira).

Desta forma, o MTM garante aderência ao fluxo do processo *Lean*, ao padronizar tarefas, auditorias e ao otimizar as operações de valor acrescentado, eliminando movimentos desnecessários efetuados pelos operadores, uma vez que este identifica e distingue as atividades de valor acrescentado e não acrescentado. O MTM promove também a cultura de melhoria contínua com a constante formação do pessoal do chão de fábrica (Kuhlang et al., 2011; Oliveira, 2011; Sunk et al., 2017). É então uma ferramenta de análise e identificação de desperdícios, bem como uma ferramenta útil para a conceção de melhorias e avaliação de impactos das mesmas, auxiliando na tomada de decisão (Noamna et al., 2022).

A Associação MTM Portugal (2010) relaciona a aplicação da metodologia MTM com a eliminação de desperdícios. Esta é ilustrada na Figura 2.15, demonstrando que a aplicação do MTM é capaz de gerar ganhos na produtividade ao reduzir distâncias, planejar operações que incluam duas mãos, reduzir o tempo de controlo de manuseamento e através do posicionamento de ferramentas e movimentos corporais.

---

<sup>1</sup> MTM Association (2024). MTM (Methods-Time Measurement). MTM (Methods-Time Measurement). Disponível em <https://mtm.org/en/about-mtm/mtm>

	Desperdício	Racionalizado	Nota	Ganho de produtividade (em tempo)
<b>Redução de distâncias</b>			Distâncias curtas	29%
<b>Operações com duas mãos</b>			Utilização de duas mãos	31%
<b>Redução do tempo de controlo</b>			Utilização de sistemas de apoio ao manuseamento	36%
<b>Ajudas de posicionamento</b>			Design concebido para facilitar operações de montagem	38%
<b>Movimentos do corpo</b>			Evitar movimentos do corpo desfavoráveis	62%

Figura 2.15 - Redução de desperdícios com a aplicação de MTM

[Fonte: Oliveira (2011), p.3]

Assim, verifica-se que a técnica MTM pode ser utilizada como uma ferramenta para a melhoria contínua, na vertente da redução de desperdícios, numa organização.

### 2.3.2 *Methods-Time Measurement* (MTM)

O MTM caracteriza-se como um método de determinação de tempos, conseguido a partir da análise dos movimentos efetuados por um trabalhador durante uma tarefa, não sendo necessário recorrer à cronometragem. A técnica tem utilização em qualquer atividade em que seja fundamental planear, organizar e executar uma tarefa, podendo ser aplicada em três fases do produto (Figura 2.16) e é aplicável para configurar os métodos de trabalho e produtos, determinar tempos e descrever o método como um meio de registo para formação (Almeida & Ferreira, 2009).

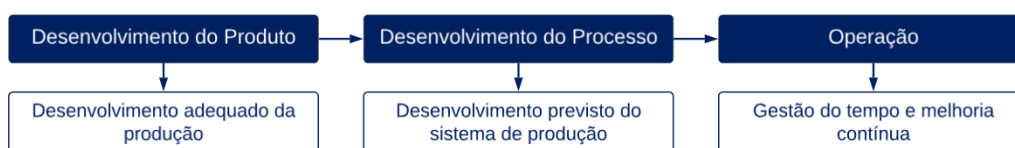


Figura 2.16 - MTM no processo de conceção do produto

[Adaptado: Morlock et al. (2017), p.371]

O MTM descreve, estrutura, configura e planea sistemas de trabalho (Almeida & Ferreira, 2009). A padronização dos processos com a aplicação de MTM tem os seguintes objetivos:

- Aumento na transparência do processo;
- Redução de custos e tempos;
- Maximização das competências dos colaboradores;
- Aumento da produtividade;
- Aplicação dos princípios da Ergonomia;
- Ter um documento com o processo de trabalho detalhado;
- Planeamento e rendimento *standard*.

Almeida & Ferreira (2009) defende que o processo para aplicar o MTM é um ciclo de melhoria contínua, constituído pelas etapas presentes na Figura 2.17.

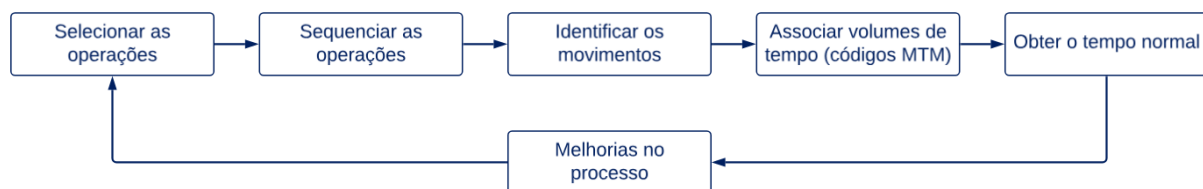


Figura 2.17 - Etapas de aplicação do MTM

[Fonte: Almeida & Ferreira (2009), p.3]

Os princípios de uma análise MTM ditam que deverão ser efetuadas filmagens das operações, realizadas por diferentes operadores e em diferentes condições. Daí, são gerados filmes com imagens individuais com uma velocidade de 16 imagens por segundo, que facilitam a identificação do início e fim da operação e respetivos movimentos (Lopes et al., 2022).

O MTM analisa os movimentos básicos das operações manuais ou métodos existentes, existindo cinco tipos de movimentos básicos: alcançar, pegar, mover, posicionar e soltar. Estes representam 80% a 85% dos movimentos executados pelo ser humano. A acrescentar, ainda estão definidos outros movimentos: aplicar pressão, separar, dobrar, movimentos de corpo e funções visuais. A cada movimento corresponde um código e um tempo padrão pré-determinado, estabelecido em função da natureza dos movimentos e das condições de trabalho que podem estar relacionadas com distâncias, pesos das partes, dificuldade do movimento ou exatidão da posição. Pelo reduzido valor de tempo associado a cada movimento, não é possível utilizar as medidas de tempo convencionais. Desta forma, é utilizada a Unidade de Medida de Tempo, referida como TMU, sendo que 1 TMU equivale a 0,00001 hora e 1 segundo equivale a 27,8 TMU's (Almeida & Ferreira, 2009; Lopes et al., 2022).

### 2.3.3 Sistema de Blocos de Tempos MTM

A metodologia MTM tem evoluído continuamente ao longo dos tempos, surgindo no sistema de blocos MTM, subsistemas distintos para aplicações diversificadas. Os presentes subsistemas MTM reconhecidos pela MTM Association (2024)<sup>1</sup> são os seguintes:

- MTM-1 (sistema básico MTM);
- MTM-2;
- MTM-UAS (sistema de análise universal MTM);
- MTM-MEK (MTM na produção única e de pequenos lotes);
- MTM-SD (MTM *standard data*);
- MTM-HWD (MTM para concepção do trabalho humano);
- MTM-LOG (MTM logística).

Os subsistemas incluídos no sistema de blocos de tempos MTM têm como referência o MTM-1, o qual se estrutura consoante os movimentos básicos do ser humano. Estes subsistemas têm um nível hierárquico atribuído, relacionado com o método utilizado. Os subsistemas dos níveis superiores utilizam, para definição das suas suboperações, as suboperações e movimentos dos subsistemas dos níveis hierárquicos inferiores, tal como é visível na Figura 2.18 (Almeida & Ferreira, 2009).

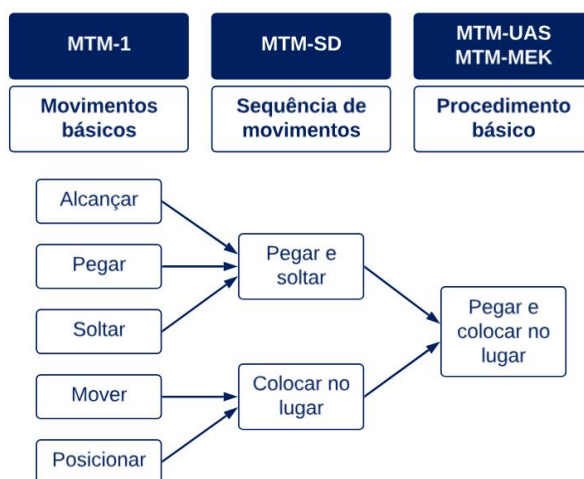


Figura 2.18 - Agrupamento de movimentos MTM

[Fonte: Almeida & Ferreira (2009), p.2]

O nível hierárquico do subsistema MTM está relacionado com o método de trabalho e com o tipo de processo<sup>1</sup>. Assim, definem-se várias propriedades do método e do processo para que seja possível associar cada subsistema do sistema de blocos de tempos a um tipo de processo (Figura 2.19).

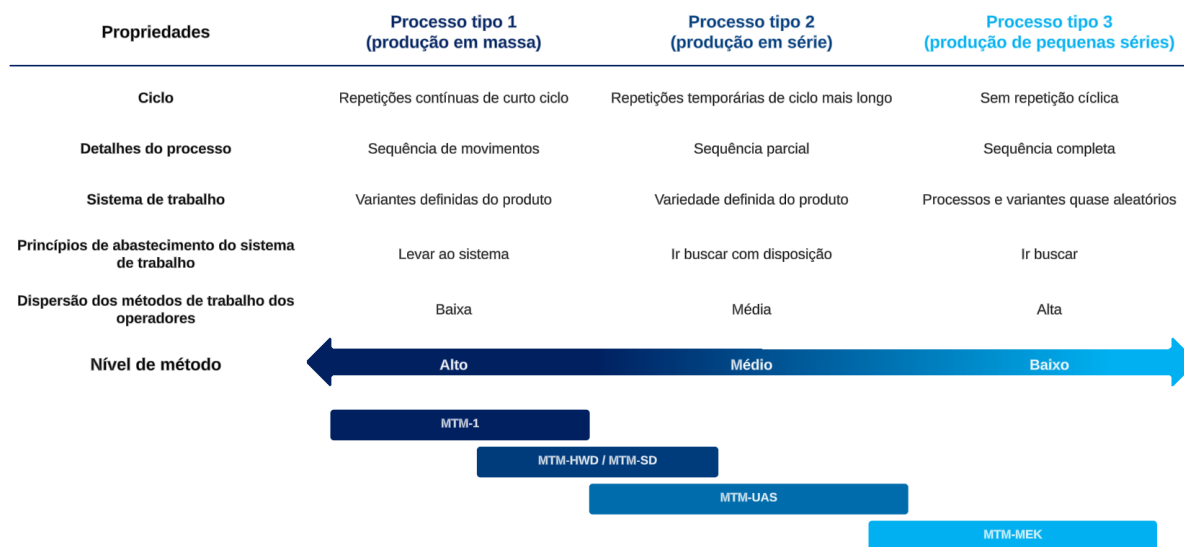


Figura 2.19 - Tipos de processo MTM

[Fonte: MTM Association (2024)<sup>1</sup>]

Apresentada a técnica de determinação de tempos MTM e a estrutura do sistema de blocos de tempos MTM, serão expostos os métodos desse sistema mais utilizados atualmente nas empresas: MTM-1, MTM-SD, MTM-UAS, MTM-MEK e MTM-LOG<sup>1</sup>. A sua descrição está presente na Tabela 2.22.

Tabela 2.22 - Sistemas MTM

Sistemas MTM	Tipo de produção a aplicar	Características
MTM-1	Produção em massa e de grandes séries	Exige uma elevada organização do sistema de trabalho e uma variação reduzida do método de trabalho. Utilizado quando se pretende efetuar uma análise mais criteriosa das atividades, por efetuar uma descrição pormenorizada dos movimentos, identificando facilmente melhorias nos processos.
MTM-SD	Produção em série	Deriva da metodologia MTM-1. É formado por tempos agregados aditivamente, o que permite a execução de análises mais rapidamente, embora com uma leve redução na precisão.
MTM-UAS	Características típicas da produção em série	É indicado para ciclos de trabalho de 1,5 minutos para que o erro de exatidão, causado pela formação de grandes blocos de tempo, seja reduzido. Permite uma análise simplificada, com um menor volume de dados, reduzindo o tempo de análise de 10 a 20 vezes. Isto é possível pela agregação das unidades de tempo de movimentos básicos aplicados na produção em série, que passam a constituir unidades de tempo mais complexas.
MTM-MEK	Produção em pequenas séries	É indicado para sistemas com ciclos de trabalho extensos, alterações significativas no método de trabalho e rotina reduzida nas tarefas executadas. Estas características estão geralmente associadas com construção de ferramentas, manutenção, trabalhos de pequenas oficinas manuais e oficinas de reparação automóvel e planeamentos e orçamentos rápidos.
MTM-LOG	Processos logísticos da produção	Facilita a determinação de tempos de meios de transporte (por exemplo, empilhadoras, porta-paletes, comboios logísticos) e de tarefas manuais (por exemplo, manuseamento de embalagens e processamento de informações), diferenciando-os.

Verifica-se que o MTM é constituído por subsistemas de maneira a ser adaptável ao sistema a ser analisado.

Os pontos positivos referidos pela Associação MTM Portugal (2010) para a aplicação desta técnica são abaixo listados.

- Desempenho uniforme de referência: Tarefas semelhantes são avaliadas recorrendo aos mesmos valores de tempo;
- *Design* de processo compreensível: Através da conjugação é viável reestruturar os processos;
- Transparência de informação: Para garantir a continuidade de diversos métodos e processos;
- Estrutura modular: Permite atingir um nível alto de abrangência com um volume de informação reduzido;
- Melhoria da produtividade: Possibilita a redução de tempos e custos, elevando a produtividade e, conseqüentemente, a competitividade;
- Redução de custos: Obtida com o desenvolvimento estruturado de produtos e definição e avaliação de métodos e tempos de trabalho antes do início de produção, o que possibilita a identificação do método ideal de trabalho ainda na fase de planeamento.

No entanto, Rocha (2017) reúne limitações da metodologia MTM presentes na literatura.

- O método MTM aplica-se apenas a processos manuais, sendo necessário cronometrar os tempos relativos a procedimentos de máquinas;
- O MTM não é adequado a tarefas intelectuais, como decisões que exijam uma análise prévia, ou seja, que transcendam um "sim" ou "não";
- O tempo padrão fornecido pelos tempos pré-determinados da ferramenta MTM não tem em consideração tempos de recuperação da fadiga;
- Por ser um estudo de descrição detalhada e avaliação das operações efetuadas, exige um esforço significativo na alimentação da base de dados (operações e códigos);
- Os profissionais necessitam de formação em MTM para desenvolver os estudos;
- É necessária a avaliação detalhada do processo em microatividades;
- É fundamental incorporar o MTM como um componente essencial do processo estratégico da organização.

## APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO E METODOLOGIA DE ESTUDO

O presente Capítulo aborda o Estudo de Caso. É apresentada a indústria automóvel e a empresa na qual o estudo foi realizado, bem como o sistema alvo do estudo. O Capítulo finaliza com a apresentação da metodologia de estudo a aplicar ao sistema produtivo.

### 3.1 Síntese da Produção Automóvel

O automóvel surge no final do século XIX na Alemanha e na França, embora evolua rapidamente na América no início do século XX com o aparecimento da produção em massa de Henry Ford. Taiichi Ohno desenvolve, no Japão, o conceito de *Lean Manufacturing*, levando o país a dominar a indústria nos anos de 1950. Após a Segunda Guerra Mundial, há um aumento na procura que gera o crescimento da produção automóvel global<sup>2</sup>.

A indústria automóvel tem vindo a evoluir continuamente ao longo do tempo, atingindo um crescimento de 10% nas vendas de 2023 em relação ao ano anterior, ultrapassando as 72 milhões de unidades. A produção atingiu as 76 milhões de unidades em 2023, representando um aumento de 10,2% em relação a 2022. Na Figura 3.1 é possível averiguar a percentagem de veículos produzidos em cada continente em 2023 (ACEA, 2024). Verifica-se que a Ásia lidera as vendas de automóveis em 2023, representado mais de metade da produção anual.

---

<sup>2</sup> History (2018). *Automobile History*. Consultado a 16 de julho de 2024. Disponível em <https://www.history.com/topics/inventions/automobiles>

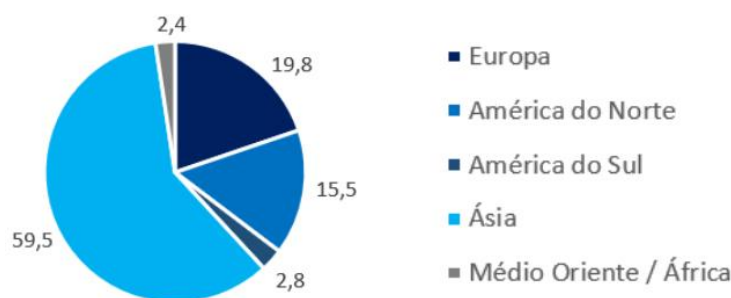


Figura 3.1 - Produção global de automóveis em 2023

A indústria automóvel em Portugal surge entre 1960 e finais dos anos 1970 com a Lei da Montagem, que impunha severas restrições às importações e quotas aos veículos ligeiros de passageiros cuja montagem não fosse realizada em Portugal. Assim, surgem várias fábricas de produção de pequenas séries. No final da década de 70 até 1988, a indústria caracteriza-se por uma política setorial voltada para a promoção de exportações, sendo a indústria automóvel reconhecida pelo seu impacto na economia. Algumas unidades de montagem encerram, permanecendo as mais especializadas e de maiores dimensões. Nos anos 90, com a parceria *Volkswagen-Ford*, há uma evolução do setor no que diz respeito à internacionalização, inovação, desenvolvimento e aplicação de I&D. O setor torna-se um dos mais presentes na economia nacional, pelo aumento exponencial do volume de negócios e das exportações (Santos & Soares, 2018). Atualmente, existem cinco unidades de produção do setor automóvel em Portugal, as quais correspondem aos produtores: *Stellantis*, *Toyota Motor Europe*, *Volkswagen AG*, *Daimler Group* e *CaetanoBus*.

A produção de automóveis, em 2023, atingiu as 318 231 unidades, havendo um decréscimo de 1,3% em relação ao ano anterior, embora este seja o terceiro valor mais elevado de sempre. O setor exportou 97,8% da produção neste ano com a Europa a ser o maior mercado<sup>3</sup>.

## 3.2 Apresentação da Empresa de Estudo

A Volkswagen AG é um dos maiores grupos fabricantes de automóveis e de veículos comerciais em todo o mundo, tendo entregue 9,26 milhões de veículos em 2023. O Grupo, com sede em Wolfsburg, foi fundado em 1937 e conta, atualmente, com 676.000

<sup>3</sup> Associação Automóvel de Portugal (2024). Queda De 1,3 Por Cento Na Produção De Veículos Automóveis No Ano De 2023. Consultado a 16 de julho de 2024. Disponível em <https://www.acap.pt/index.php?route=base/pt/noticia/969/queda-de-13-por-cento-na-producao-de-veiculos-automoveis-no-ano-de-2023>

colaboradores e 114 instalações de produção, encontrando-se distribuídas 56 na Europa, 27 na China, 10 na América do Norte, 9 na América do Sul, 8 na Ásia e 4 na África do Sul<sup>4</sup>.

As marcas constituintes do grupo estão divididas em 3 diferentes segmentos: *Core*, *Progressive* e *Sport Luxury*. A *Core* é constituída pelas marcas Volkswagen, Volkswagen Commercial Vehicles, SKODA, SEAT e CUPRA. A *Progressive* inclui a Audi, Lamborghini, Bentley e Ducati, e a *Sport Luxury* apenas integra a Porsche. O Grupo ainda é composto por outras marcas e unidades de negócio: a TRATON SE foca-se no fabrico de veículos comerciais, a CARIAD é o centro de *software* do Grupo Volkswagen, a Volkswagen Group Technology responsabiliza-se pela produção global de células de bateria e pela expansão da rede mundial de carregamento rápido, a Volkswagen *Financial Services* é o fornecedor de serviços financeiros e de mobilidade do Grupo e a MOIA desenvolve serviços de transporte a pedido.

Com o aparecimento de mudanças e desafios, a Volkswagen AG elaborou e adotou a estratégia “NEW AUTO” – *Mobility for Generations to Come* em 2021. A estratégia tem como foco principal a mobilidade e ambiciona tornar o Grupo mais focado, eficiente, inovador, orientado para o cliente e sustentável (Volkswagen Group, 2023). Para tal, foram definidas doze iniciativas, presentes na Figura 3.2.

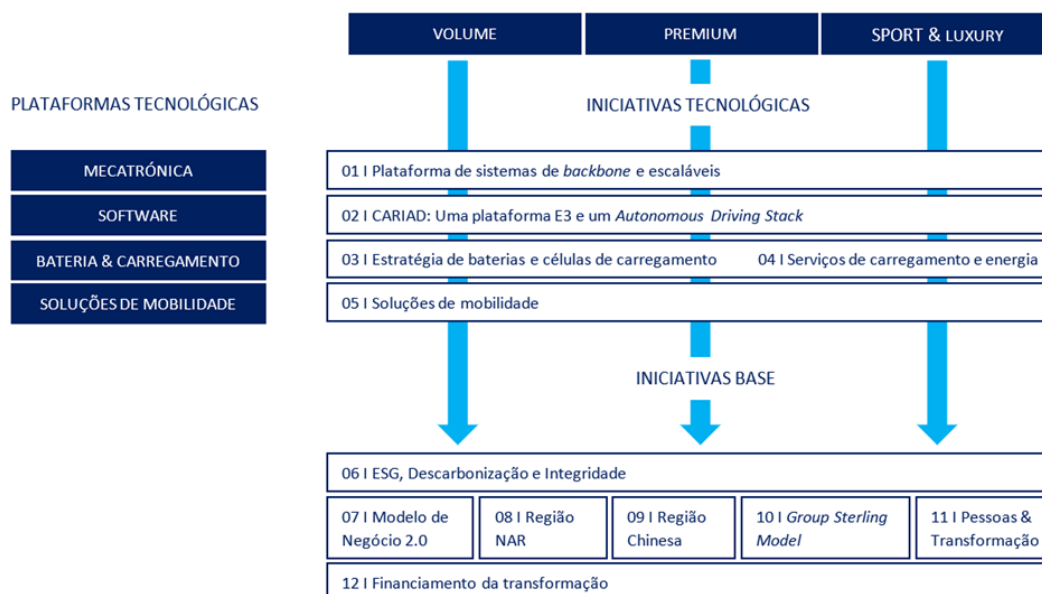


Figura 3.2 - Estratégia “NEW AUTO” – *Mobility for Generations to Come*

[Fonte: Volkswagen Group (2023)]

<sup>4</sup> Volkswagen Group (2024). Volkswagen Group Sites. Volkswagen Group. Consultado a 17 de fevereiro de 2024. Disponível em <https://www.volkswagen-group.com/en/volkswagen-group-sites-17481>

A Volkswagen Autoeuropa, localizada em Palmela, é a fábrica da Volkswagen AG responsável pela produção do modelo T-Roc, sendo por isso conhecida como “A casa do T-Roc”. A Autoeuropa surgiu, em 1991, a partir de uma *joint-venture* entre a Volkswagen e a Ford com o intuito de construir uma fábrica multimarca que iria produzir os modelos VW Sharan, Ford Galaxy e SEAT Alhambra. O contrato de investimento realizado com o Estado Português é até à atualidade o maior investimento estrangeiro em Portugal e foi realizado em 1991, seguido da inauguração da fábrica em 1995. Em 1999, a parceria da Volkswagen com a Ford terminou, passando o Grupo Volkswagen a assumir 100% do capital social da Autoeuropa. Atualmente, os 3 modelos iniciais produzidos na fábrica encontram-se descontinuados, sendo que o SEAT Alhambra e o VW Sharan foram descontinuados em 2022, como é visível na Figura 3.3. Assim, na atualidade, a Autoeuropa apenas é produtora do T-Roc, um *Sport Utility Vehicle* compacto que iniciou a sua produção em 2017. Para além da produção de automóveis, a Autoeuropa opera em outras 2 unidades de negócio: a Unidade de Negócio de Cunhos e Cortantes, fornecendo ferramentas e equipamentos a outras fábricas e a Unidade de Negócio de Prensas, vendendo as partes construídas na unidade de prensas da fábrica a outras instalações industriais (Volkswagen Autoeuropa, 2024a).



Figura 3.3 - Cronograma da Volkswagen Autoeuropa

[Fonte: Volkswagen Autoeuropa (2024b)<sup>5</sup>]

Em 2023, com um total de 4980 colaboradores, a fábrica produziu 220.100 automóveis, sendo 99,3% destas unidades para exportação. O volume de vendas associado às unidades produzidas neste mesmo ano foi de 3,511 mil milhões de euros e o impacto no Produto Interno Bruto teve um valor de 1,3%<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Volkswagen Autoeuropa (2024b). Imprensa. Consultado a 25 de maio de 2024. Disponível em <https://www.volkswagenautoeuropa.pt/media/>

Tal como demonstrado na Figura 3.4, no que diz respeito à produção por mercados de 2023, a Alemanha é a maior cliente da fábrica, representando 24,2% das vendas. Seguem-se a Itália e o Reino Unido com 13,0% e 9,6%, respetivamente. Portugal é o vigésimo primeiro país comprador dos automóveis produzidos na Autoeuropa, representando 0,8% do mercado.

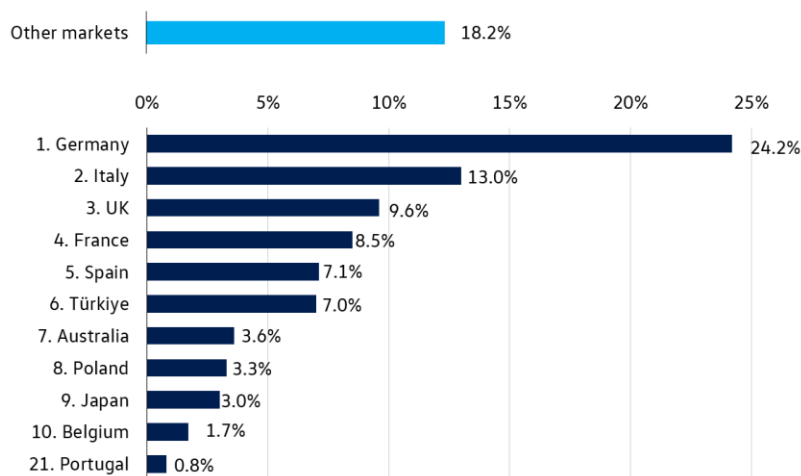


Figura 3.4 - Produção da Volkswagen Autoeuropa por mercado

[Fonte: Volkswagen Autoeuropa (2024a)]

O quadro administrativo da VW Autoeuropa, representado na Figura 3.5, encontra-se dividido em três áreas: Finanças e Tecnologias de Informação, Gestão de Fábrica e Recursos Humanos e Organização. O estudo de caso desenvolvido na presente dissertação foi realizado no departamento de *Value Stream*, um dos vários existentes na área de Gestão de Fábrica. Este departamento foca-se na melhoria contínua da área de produção da fábrica, analisando-a como um sistema tendo em conta todos os fatores e interações existentes e, conseqüentemente, atuando nos fatores que influenciam e restringem a produção.

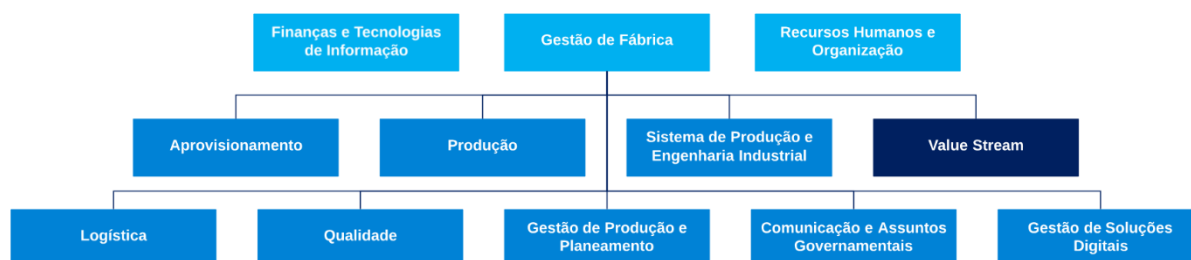


Figura 3.5 - Organograma da Volkswagen Autoeuropa

A organização em estudo posiciona-se, relativamente à melhoria contínua, como uma empresa *Lean Six Sigma*, sendo a vertente Seis Sigma a desenvolvida mais recentemente. Relativamente ao sistema de tempos pré-determinados, este é atualmente utilizado na organização para o planeamento e conceção de postos de trabalho.

### 3.3 Caracterização do Sistema em Estudo

A VW AE, atualmente, opera em 3 turnos (24 horas/dia) durante a semana, tendo um *target* de produção de 934 carros/dia, exceto aos sábados e domingos, dias em que a fábrica apenas realiza 2 turnos (16 horas/dia). Um turno tem 30 minutos de pausa para refeição, acrescentando-se ainda 2 pausas de 10 minutos, o que significa que, num dia de semana, o tempo efetivo de trabalho é de 1.290 minutos. Na Tabela 3.1 é apresentado o tempo de produção de cada turno e o total diário.

Tabela 3.1 - Tempo de produção diário por turno

Tempo de produção por turno	Turno da manhã	Turno da tarde	Turno da noite	Total
Tempo efetivo de produção (min)	450	450	390	1 290
Pausa para refeição (min)	30	30	30	90
Pausa de 10 minutos (min)	20	20	20	60

De seguida, é descrito sucintamente o processo de produção da fábrica, que se encontra dividido em 4 áreas: Prensas, Carroçarias, Pintura e Montagem.

O processo tem início nas Prensas, com a entrega das bobinas de aço pelo fornecedor. Estas são aqui cortadas em chapas de menores dimensões e, posteriormente, estampadas, obtendo-se as peças necessárias para a produção da carroçaria dos veículos. Neste momento, as peças produzidas podem ter dois fins: ser enviadas para outras fábricas, sendo a Autoeuropa o fornecedor, ou podem seguir para a área das Carroçarias, onde serão soldadas para formar a estrutura do carro. Seguidamente, na zona de Pintura, a carroçaria do veículo vai sofrer vários banhos e tratamentos, saindo desta área para o RAS, o armazém que irá abastecer a Montagem, já com a sua cor final. Os veículos seguem para a área de Montagem devidamente sequenciados e é aqui que as restantes peças do automóvel são montadas, sofrendo, no fim, várias inspeções e testes. Passando nestes, o produto está pronto para expedição.

O projeto desenvolvido decorre na área da Montagem, onde a linha de produção se encontra dividida em 7 Zonas e alguns *buffers*. Cada Zona da linha de montagem inclui várias estações de trabalho.

A área de montagem da VW AE pode ser dividida em duas linhas: uma dedicada à montagem dos componentes das portas do automóvel (Zona G) e outra dedicada à montagem do restante veículo. Esta segunda linha de montagem pode ser descrita como tendo uma linha principal e uma linha secundária. A Zona C refere-se à linha secundária, que irá convergir com a linha principal na Zona B. Na Zona A, são feitas montagens na carroçaria do veículo e na

Zona C é feita a montagem do chassis. Na Zona B, as duas linhas unem-se ao fazer o acoplamento da carroçaria com o chassis correspondente. A Zona E continua com a montagem de peças no veículo. Após as portas terem passado pela Zona G, estas vão ser inseridas no veículo na Zona F. Na Zona H começam a ser efetuadas as inspeções ao produto.

A área em estudo é a Zona C, que compreende o *Engine Dress* (ED) e o *Pre-Assembly* (PA). No entanto o foco principal da dissertação é a Zona *Pre-Assembly*. Foi também estudado o comportamento de duas das estações de trabalho da Zona B (que inclui o *Decking* (DK) e a Zona B1) por estarem diretamente afetadas pela Zona C. O *layout* da área em estudo está presente na Figura 3.6.

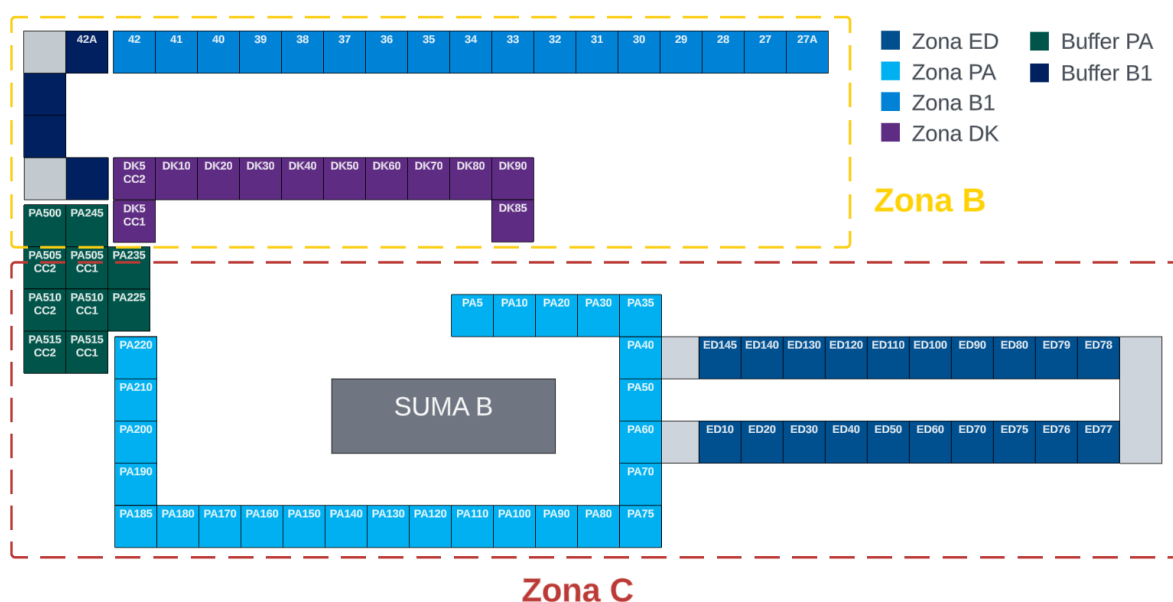


Figura 3.6 - *Layout* da área em estudo

A Zona C é uma linha *stop-and-go*, tendo a particularidade de não estar continuamente em andamento. Nesta linha, o processo que o veículo sofre é executado com a veículo estático, e não em movimento. O veículo apenas segue para a próxima estação quando o trabalho que está a ser efetuado na estação atual é finalizado (no caso das estações manuais, este sinal é enviado quando o operador puxa uma corda) e quando a estação para qual o veículo vai seguir está disponível. Este tipo de linha cria espaços vazios (estações em espera de trabalho), quer por falhas de equipamentos, quer pela variabilidade originada pelas operações manuais e diferentes complexidades das atividades a realizar nas estações para cada variante.

A Zona ED encarrega-se da montagem do motor. O motor passa pelas várias estações de trabalho num AGV (*Autonomous Guided Vehicle*), que é libertado quando entrega o motor à Zona PA e retorna então ao início da Zona ED para iniciar novamente o processo.

Na Zona PA, é montado o chassis do automóvel que segue numa *frame* ao longo da linha. A *frame* é a estrutura onde vai ser montado o chassis do carro, sendo que quando o chassis é removido da *frame*, esta pode ser utilizada novamente. Quando o chassis passa por toda a Zona PA, é então inserido num *buffer* e enviado para a Zona DK, que, além do chassis, recebe a carroçaria do veículo num *trolley* proveniente de um *buffer* da Zona B1. Nesta zona, é efetuada a junção de ambas as partes, libertando, assim, a *frame* que vai para o *buffer* de *frames* para ser sequenciada e voltar ao início da Zona PA para ser utilizada novamente.

Na Figura 3.7 são apresentadas as estações de trabalho do *Pre-Assembly*, definindo-as como manuais, automáticas, de transferência (mesas rotativas) ou estações sem trabalho. É também apresentada a alocação dos operadores nas mesmas.

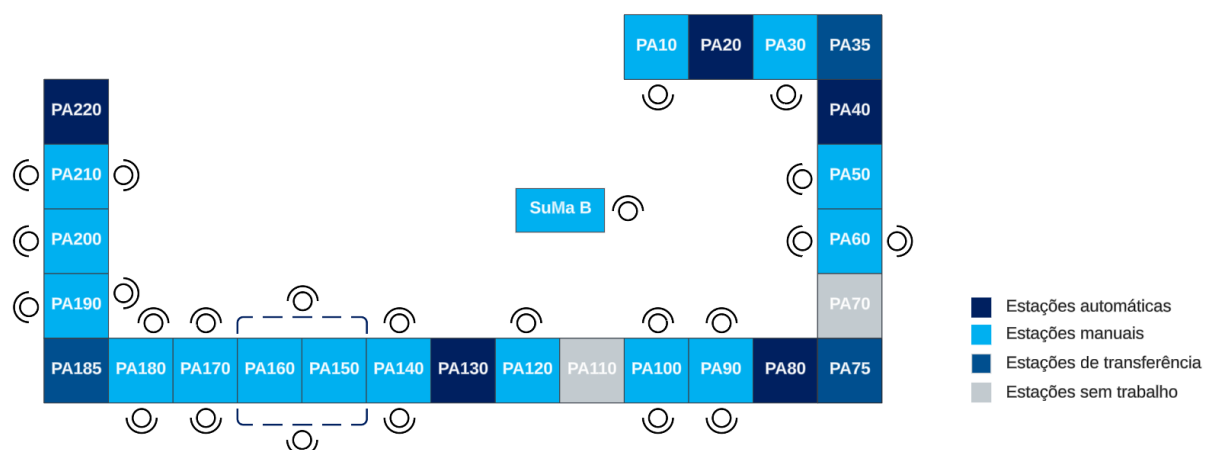


Figura 3.7 - Estações de trabalho na Zona de *Pre-Assembly*

A Zona B tem um tempo de ciclo de 1,252 minutos (75,12 segundos). Já a Zona C segue um tempo de ciclo de 1,232 minutos (73,92 segundos) e, no seu centro, encontra-se o supermercado SUMA B02 que vai abastecer o *Pre-Assembly*. A Zona C tem um tempo de ciclo maior que a B para garantir que, se ocorrer uma paragem na Zona C, a Zona B não é imediatamente afetada, havendo tempo para reação, não parando imediatamente toda a produção.

Diferentes motores são construídos consoante o respetivo veículo, existindo no total 10 variantes, que têm diferentes instruções e níveis de complexidade distintos na sua construção.

Os motores podem ser tanto para veículos a gásóleo como a gasolina. A acrescentar, apesar de, na fábrica, apenas ser construído o modelo T-Roc, este pode ser um 4x2, ou seja, ter tração em duas rodas, ou um 4x4, tendo tração nas quatro rodas. Existe ainda a opção de o veículo ter o volante à esquerda ou à direita e de ter mudanças manuais ou automáticas.

Como a produção dos veículos com tração nas quatro rodas é mais complexa, existe um *mix* de restrição entre veículos 4x2 e 4x4, sendo este de 1:2, ou seja, ao ser produzido um veículo de tração nas 4 rodas, os dois seguintes podem apenas ter tração em duas. É de salientar ainda que uma das motorizações dos veículos 4x4 é a mais complexa das existentes, sendo a sua restrição de *mix* de 1:10.

### 3.4 Metodologia de Estudo

Na presente secção é definida e apresentada a metodologia de estudo a utilizar no desenvolvimento do Estudo de Caso na Volkswagen Autoeuropa. É efetuada uma descrição pormenorizada das suas etapas, bem como das ferramentas a utilizar para o desenvolvimento do estudo.

A presente dissertação propõe uma metodologia de estudo baseada no ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Esta tem como objetivo melhorar a eficiência do sistema produtivo em estudo, recorrendo às ferramentas MTM e *Lean*. Optou-se por desenvolver uma metodologia que seguisse o ciclo PDCA por este ser a base das metodologias de melhoria contínua. A integração do MTM com o *Lean* deve-se à predominância destas metodologias na organização em que foi desenvolvido o Estudo de Caso. A metodologia de estudo é visível na Figura 3.8.

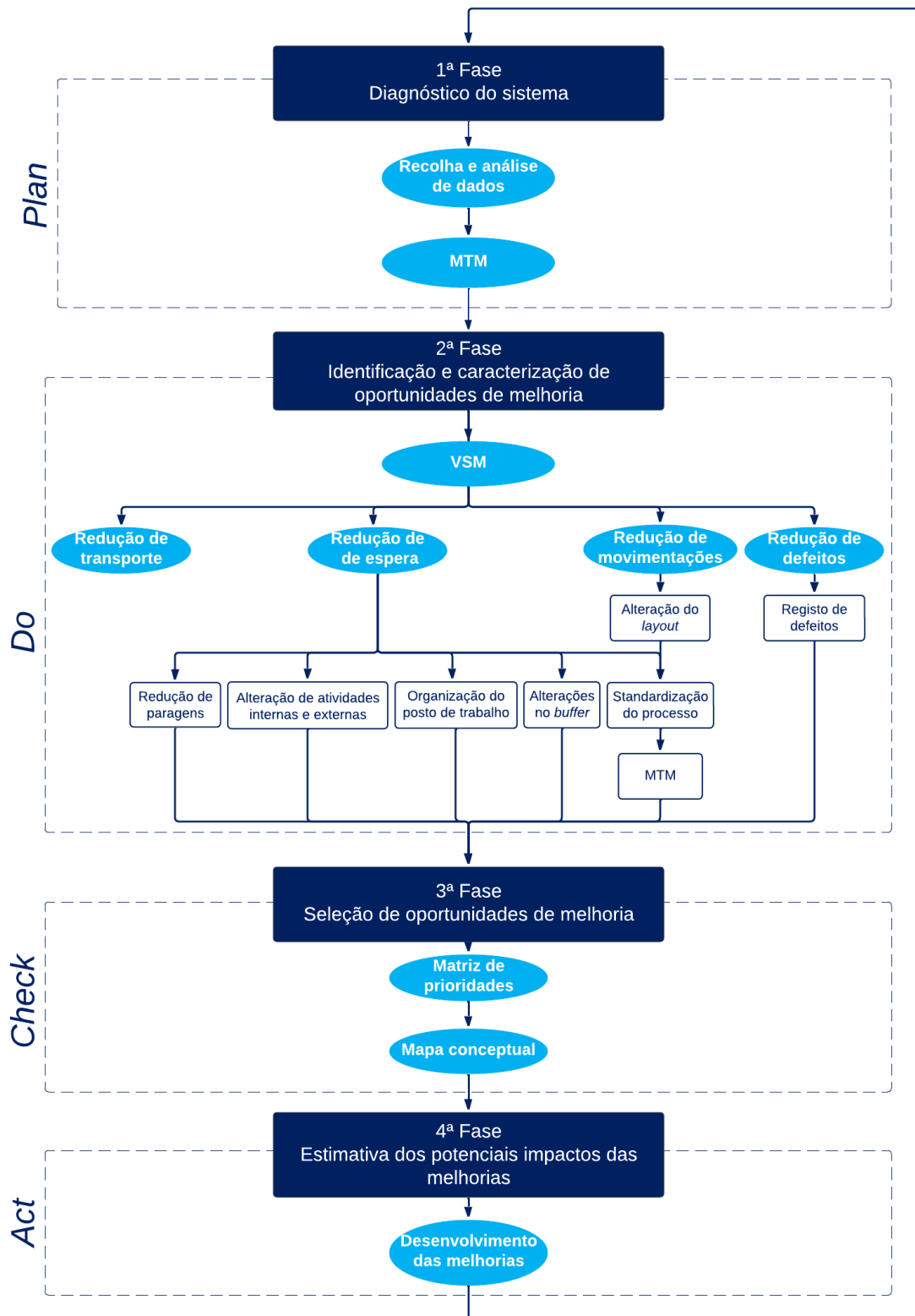


Figura 3.8 - Metodologia de estudo

A metodologia é constituída por quatro fases: Diagnóstico do sistema, Identificação e caracterização de oportunidades de melhoria, Seleção de oportunidades de melhoria e Estimativa dos potenciais impactos das melhorias. De seguida, é apresentada uma descrição pormenorizada de cada uma das fases da metodologia apresentada, incluindo as ferramentas escolhidas para utilização no Estudo de Caso.

### 3.4.1 Diagnóstico do Sistema (1ª Fase)

Após a identificação do sistema produtivo a ser estudado, é necessária a sua análise intensiva para obter uma melhor perceção do mesmo e capacitar a posterior implementação de melhoria contínua.

Inicialmente, será feita uma análise relativamente à produtividade dos diferentes turnos existentes na fábrica, com o intuito de perceber se o estudo terá de ser feito por turno ou se é suficiente efetuar a análise para apenas um turno, admitindo que os restantes têm um comportamento equivalente. Para atingir este fim, deve-se proceder à utilização do Desenho de Experiências (DoE), optando pela análise de um fator com vários níveis, correspondendo o tempo de ciclo médio por dia ao fator e os diferentes turnos (manhã, tarde e noite) aos níveis (Oumesaoud et al, 2024). Para esta análise, serão considerados os seguintes pressupostos:

- Normalidade dos resíduos;
- Independência dos resíduos;
- Homogeneidade da variância dos resíduos.

Definindo um nível de significância e ao utilizar a tabela ANOVA, será testado o seguinte teste de hipóteses:

$H0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$  (A média do parâmetro é igual nos diferentes níveis)

$H1: \mu_i \neq \mu_k$  (Pelo menos a média do parâmetro num par de níveis é diferente)

Para finalizar esta análise, serão verificados os pressupostos da análise de variâncias, referidos anteriormente, através de uma análise gráfica aos resíduos.

Seguidamente à análise dos turnos, devem ser recolhidas e calculadas as medidas de Disponibilidade Operacional (DO) (3.1), Desempenho (3.2) e Qualidade (3.3), utilizadas para o cálculo do indicador Eficiência Global dos Equipamentos (OEE) (3.4).

$$\text{Disponibilidade Operacional} = \frac{\text{Tempo de produção real}}{\text{Tempo de produção possível}} \quad (3.1)$$

$$Desempenho = \frac{Produção\ real}{Produção\ ideal} \quad (3.2)$$

$$Qualidade = \frac{Produção\ conforme}{Produção\ real} \quad (3.3)$$

$$OEE = Disponibilidade\ Operacional \times Desempenho \times Qualidade \quad (3.4)$$

Será também efetuada uma análise à taxa de ocupação do *buffer* no final da linha de produção e à sua organização.

A acrescentar, nesta fase inicial, são efetuadas *Gemba Walks* que permitirão compreender melhor os processos e todas as suas interações com o sistema e é realizada a recolha de dados (tempo de ciclo, tempo de processo e tempo de espera) através de cronometragens. Primeiramente, são realizadas 30 medições por cada estação de trabalho com o intuito de determinar a dimensão aceitável da amostra. Para tal, foi utilizada a equação (3.5) em que  $n$  corresponde à dimensão da amostra a calcular,  $Z$  o intervalo de confiança considerado,  $A$  o erro assumido,  $\bar{S}$  o desvio padrão estimado e  $\bar{x}$  a média dos tempos de ciclo recolhidos.

$$n = \left( \frac{Z \times \bar{S}}{A \times \bar{x}} \right)^2 \quad (3.5)$$

Ao calcular este valor, terá de ser considerado um intervalo de confiança e erro a satisfazer, que serão selecionados de acordo com a variabilidade existente na estação de trabalho. Caso a dimensão da amostra aceitável seja superior ao valor recolhido (30 observações) terão de ser recolhidos mais dados até atingir o valor calculado.

Com os dados recolhidos para cada estação, serão retirados os *outliers* recorrendo à técnica amplitude interquartil (IQR). Calculada a média ( $\bar{x}$ ), o quartil 1 (Q1) e o quartil 3, é obtido o valor do IQR (3.6). Posteriormente, obtêm-se os limites inferior (LI) e superior (LS), através das equações (3.7) e (3.8), respetivamente.

$$IQR = Q1 - Q3 \quad (3.6)$$

$$LI = \bar{x} - 1,5 \times IQR \quad (3.7)$$

$$LS = \bar{x} + 1,5 \times IQR \quad (3.8)$$

Retirados os *outliers* será possível analisar as principais causas da ocorrência de *outliers*. A acrescentar, efetuar-se-á uma comparação entre estações de trabalho e será verificado se os tempos recolhidos ultrapassam o *takt time*. Além disso, será comparada a média e o desvio padrão dos tempos de ciclo e de processo com e sem *outliers*, percebendo o efeito que estes têm nos tempos obtidos.

Com a remoção dos *outliers*, estes dados deverão ser comparados com os tempos de processo teóricos de cada estação de trabalho com o intuito de verificar se a realidade no chão de fábrica corresponde ao planeado. Caso tal não se verifique, deve procurar entender-se qual o motivo das diferenças.

Na eventualidade de inexistência dos tempos teóricos do processo, será efetuada uma análise MTM ao operador em questão, possibilitando, posteriormente, a comparação destes resultados com os tempos cronometrados. Esta ferramenta é uma adição a qualquer um dos modelos apresentados no Capítulo 2. Na aplicação desta metodologia deverá, primeiramente, ser feita a escolha do método MTM a utilizar, consoante as características do processo em estudo. Após determinar quais os processos a serem analisados e qual o método MTM a aplicar deverão ser seguidos os seguintes passos:

1. Observar o processo de maneira a obter um conhecimento detalhado de todas as operações efetuadas pelo operador e entender exatamente o início e fim o ciclo de trabalho;
2. Dividir cada operação de trabalho em suboperações consoante os blocos de tempo do método MTM escolhido e descrever cada um desses elementos;
3. Definir as condições gerais do processo e as grandezas de influência necessárias (distâncias, pesos, entre outros). Para facilitar a percepção das distâncias percorridas pelo operador, deverá ser elaborado um diagrama de esparguete, que evidencie os movimentos realizados pelo operador. O diagrama de esparguete deverá ser elaborado sobre o *layout* da estação de trabalho, onde serão desenhadas linhas que identifiquem a movimentação do operador durante um processo. As linhas deverão ter setas para que seja perceptível o sentido percorrido pelo operador (E. Santos et al., 2023);
4. Analisar as suboperações e associá-las aos códigos e respetivos blocos de tempos dos procedimentos *standard* do método MTM escolhido. Definir o número de vezes que a suboperação é elaborada associando esse valor ao bloco de

tempo. Uma vez que os blocos de tempo estão em TMUs, serão convertidos em segundos através da seguinte fórmula (3.9);

$$\text{Tempo (segundos)} = 0,036 \times \text{Tempo (TMU)} \quad (3.9)$$

5. Determinar o tempo normal das operações e do processo em estudo. Caso seja necessário, deverá ser definido o *mix* de variantes na estação de trabalho, o qual deve ser aplicado ao processo, de maneira a obter o tempo normal médio.

Com os resultados do estudo MTM é elaborada a folha de trabalho *standard*. A folha de trabalho *standard* contém todas as operações efetuadas na estação, associando a cada uma um tempo, distinguindo os tempos das operações manuais dos tempos das operações automáticas. Além destas duas diferenciações, é também incluído o tempo associado ao deslocamento do operador na estação de trabalho. Este encontra-se separado do tempo associado às operações manuais por ser um tempo gasto em atividades sem valor acrescentado. Assim, é possível definir o tempo gasto em atividades de valor acrescentado, diferenciando-as em manuais e automáticas, e sem valor acrescentado. É evidenciado o tempo de processo, bem como o tempo do operador não ocupado até atingir o tempo de ciclo.

Posteriormente, será realizada uma análise que determine a correlação entre os tempos de ciclo provenientes da cronometragem com os tempos de ciclo recolhidos pelo sistema informático da organização, para se verificar se os dados recolhidos pelo sistema informático correspondem à realidade do chão de fábrica. Para tal, será utilizado o cálculo do erro percentual, comparando o valor do tempo de ciclo obtido numa observação com o valor correspondente obtido no sistema. Com os erros percentuais obtidos, é então possível calcular o erro percentual médio, para procurar verificar a correlação dos dados em análise. Será considerado que os tempos de ciclo cronometrados e do sistema estão correlacionados, caso o erro percentual médio seja igual ou inferior a 5%. No caso de não se chegar a essa conclusão, deve procurar entender-se a razão da discrepância verificada. Será também incluída nesta análise a comparação de ambos estes tempos com os tempos teóricos.

Finalmente, será efetuado um estudo da disponibilidade das estações automáticas, verificando-se o seu tempo de paragem ao longo de um período de tempo e a sua Disponibilidade através da equação 3.1.

### 3.4.2 Identificação e Caracterização de Oportunidades de Melhoria (2ª Fase)

Na segunda fase do estudo, procura-se a identificação e caracterização de oportunidades de melhoria que possibilitem a melhoria do sistema produtivo. Nesta fase é efetuado o Mapeamento do Fluxo de Valor ou *Value Stream Mapping* (VSM), que auxiliará na identificação das oportunidades de melhoria. Assim, será construído o VSM do estado atual com as oportunidades de melhoria identificadas para reduzir desperdícios.

A presente fase requer a identificação de desperdícios no sistema produtivo, após a qual serão sugeridas medidas para os reduzir, recorrendo a ferramentas *Lean* e à ferramenta MTM. As ferramentas sugeridas para a identificação e redução de desperdícios são as propostas por Carvalho (2019) (Tabela 2.20). Adicionalmente, acrescentam-se à sua metodologia a ferramenta MTM, como ferramenta de identificação e redução dos desperdícios: tempo de espera, por ser necessário percorrer longas distâncias para a realização de tarefas; transporte, por ser necessário percorrer longas distâncias; processos inadequados, porque o espaço e a ordem de trabalho são desadequados; e movimentações desnecessárias dentro de um posto de trabalho.

O procedimento a utilizar para a aplicação da ferramenta MTM é análogo ao apresentado na fase anterior. A utilização desta ferramenta possibilitará a padronização de processos e a redução de desperdícios consoante a metodologia *Lean*, contribuindo também para a melhoria da eficiência do sistema produtivo.

### 3.4.3 Seleção das Oportunidades de Melhoria (3ª Fase)

Após a identificação das oportunidades de melhoria, devem ser selecionadas as mais adequadas para implementação. Propõe-se a utilização de uma matriz de prioridades (Figura 3.9), baseada na matriz de riscos, em que os fatores "Impacto no sistema" e "Facilidade de implementação" serão considerados para definir quais as medidas a implementar o mais rapidamente possível, as que devem ser agendadas e as que devem ser revistas.



Figura 3.9 - Matriz de prioridades

A matriz de prioridades divide a priorização das medidas identificadas em três categorias simbolizadas por cores. As oportunidades de melhoria a implementar mais urgentemente encontram-se na zona vermelha (índice de prioridade de 15 a 25), sendo esta cor representativa da prioridade. A zona amarela (índice de prioridade de 8 a 12) dita as oportunidades de melhoria a serem implementadas mais tarde. As oportunidades de melhoria presentes na zona verde (índice de prioridade de 1 a 6) devem ser revistas para que se decida se devem, em algum momento, ser implementadas ou não.

No caso de existirem oportunidades de melhoria com o mesmo índice de prioridade, deverá priorizar-se a correspondente à maior facilidade de implementação.

A utilização desta ferramenta irá priorizar a implementação das medidas identificadas consoante os dois fatores referidos. No entanto, não considera a interrelação entre as medidas identificadas, ou seja, não prioriza se uma medida tem obrigatoriamente de ser implementada antes de outra. Para dar resposta a essa lacuna, será elaborado um mapa conceptual, que relacionará os problemas identificados com as soluções encontradas, relacionando também as soluções entre si (Fortes, 2023). Assim, compreende-se em que problemas uma solução tem impacto e se uma solução está condicionada pela realização de outra solução.

Com a utilização da matriz de prioridades e do mapa conceptual será possível definir a ordem pela qual deverão ser implementadas as propostas identificadas.

### 3.4.4 Estimativa dos Potenciais Impactos das Melhorias (4ª Fase)

Na última fase serão desenvolvidas as propostas selecionadas, estimando-se o impacto que as mesmas terão no sistema produtivo. Deverá procurar entender-se qual o fator em que a sugestão vai atuar, procurando, posteriormente, quantificá-lo.

Para tal, serão simuladas *offline* as medidas selecionadas. Deverão ser efetuados os cálculos para obter os tempos de processo, por meio da ferramenta MTM, considerando as alterações sugeridas. Assim, e considerando as suboperações utilizadas no estudo do estado atual do processo deverão ser efetuados os seguintes passos:

1. Determinar ou verificar as condições gerais do processo e as grandezas de influência necessárias (distâncias, pesos, entre outros), uma vez que estas podem ter sofrido alterações com as medidas sugeridas. Elaborar um diagrama de esparguete, que evidencie os movimentos propostos para o operador e as diferenças entre o trajeto atual e o proposto. O diagrama de esparguete deverá ser elaborado seguindo o raciocínio utilizado para o caso real da estação de trabalho;
2. Analisar as suboperações e associá-las aos códigos e respectivos blocos de tempos dos procedimentos *standard* do método MTM escolhido. Definir o número de vezes que a suboperação é elaborada associando esse valor ao bloco de tempo. Uma vez que os blocos de tempo estão em TMUs, serão convertidos em segundos através da fórmula (3.9);
3. Determinar o tempo normal das operações e do processo em estudo, utilizando o *mix* de variantes na estação de trabalho.
4. Elaborar a folha de trabalho *standard* para cada processo de forma a evidenciar as diferenças obtidas ao considerar as alterações sugeridas ao processo.

Com os tempos de processo obtidos através das propostas a implementar no sistema, deverá ser efetuada uma comparação percentual com os tempos de processo reais, quantificando a oportunidade de melhoria.

## IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE ESTUDO

O quarto capítulo apresenta o estudo e procedimentos tomados para a aplicação da metodologia proposta. Serão seguidas as 4 fases da metodologia de estudo e utilizadas as ferramentas e lógicas referidas no Capítulo 3.

### 4.1 Diagnóstico do Sistema (1ª Fase)

Nesta fase, será exposto o procedimento de recolha e tratamento de dados, métricas e medidas de desempenho a auxiliar no diagnóstico do sistema produtivo.

#### 4.1.1 Análise de Turnos

Os dados utilizados para a análise de turnos correspondem ao período de 17 a 21 de março de 2024 na estação de trabalho PA10. De referir que no dia 17 de março não houve produção no turno da noite. Na Tabela 4.1, encontra-se a matriz de planeamento utilizada para realizar o Desenho de Experiências.

Tabela 4.1 - Matriz de planeamento

Turno	Tempo de ciclo médio por dia (seg)					Soma (seg)	Média (seg)	Variância (seg)
Manhã	73,41	71,19	74,69	71,85	72,86	364,00	72,80	1,86
Tarde	71,43	72,31	74,23	70,18	72,87	361,01	72,20	2,31
Noite	71,68	72,09	72,59	70,82		287,18	71,80	0,56

O nível de significância definido para o teste de hipóteses foi de 5%, correspondendo a um  $F_{\text{crítico}} = 3,9823$ . A Tabela 4.2 representa a análise ANOVA efetuada.

Tabela 4.2 - ANOVA de variação dos tempos de ciclo entre turnos

Fonte de Variação	SS	g.l.	MS	$F_0$	P-value	$F_{\text{crítico}}$
Entre turnos	2,31	2	1,1569	0,6921	0,5210	3,9823
Erro	18,39	11	1,6716			
Total	20,70	13				

Ao analisar a tabela ANOVA, identifica-se que  $F_0 < F_{\text{crítico}}$ , logo não se rejeita a hipótese nula. Assim, conclui-se que não existem diferenças significativas entre os tempos de ciclo dos diferentes turnos para um nível de significância de 5%.

Apesar da conclusão obtida com o teste, é necessário verificar os pressupostos da análise de variância para os dados utilizados, para validar o resultado da análise efetuada.

A verificação do primeiro pressuposto, normalidade dos resíduos, é efetuada com a Figura 4.1, sendo que o pressuposto é validado quando os pontos formam uma reta.

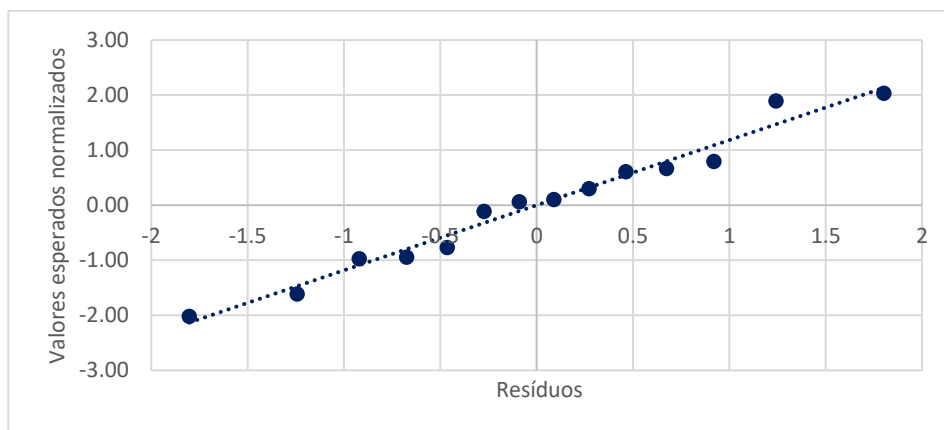


Figura 4.1 - Gráfico de probabilidades da distribuição Normal

Ao analisar a figura, é possível validar a normalidade dos resíduos, uma vez que com os pontos do gráfico das probabilidades da distribuição Normal é obtida uma reta.

O pressuposto de independência dos resíduos é validado através da Figura 4.2, onde deve haver uma dispersão dos pontos aleatória.

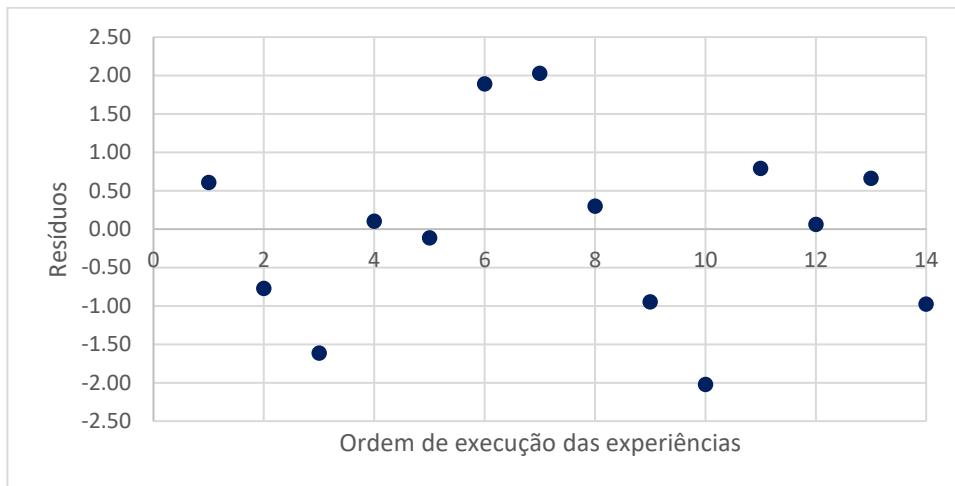


Figura 4.2 - Gráfico Resíduos vs Ordem de execução das experiências

Pela análise do gráfico, verifica-se que não há correlação entre os resíduos, sendo os mesmos independentes.

O último pressuposto, homogeneidade da variância dos resíduos, é verificado pela Figura 4.3 quando não há evidências de uma tendência.

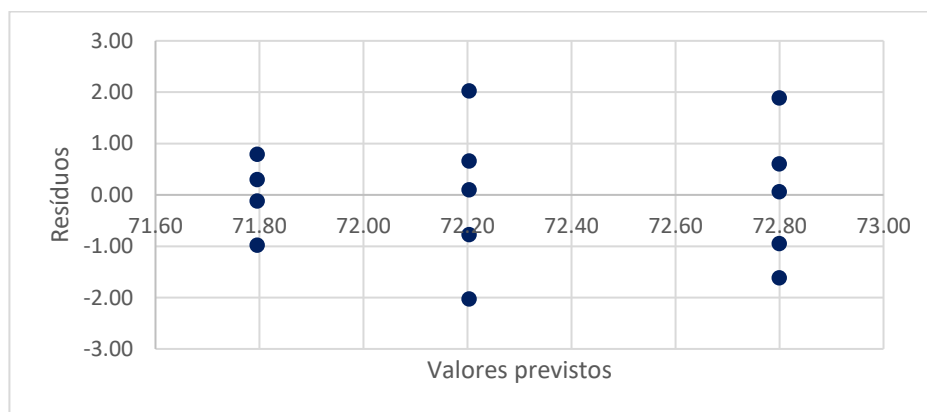


Figura 4.3 - Gráfico valores previstos vs resíduos

Ao analisar a figura, não se presencia nenhuma tendência, sendo possível comprovar a homogeneidade da variância dos resíduos, ficando, assim, validados os três pressupostos do método utilizado.

Com este resultado, pode-se considerar que os turnos se comportam de forma semelhante, não sendo necessário efetuar uma análise por turno. Assim, poderá ser efetuada uma análise aglomerando dados de todos os turnos, ou de apenas um dos turnos, uma vez que todos se comportam de forma semelhante. Será estudado o turno da manhã para aplicar a metodologia apresentada no Capítulo 3, uma vez que este turno é de mais fácil acessibilidade para a realização de cronometragens no chão de fábrica e para observação do *Gemba*.

## 4.1.2 Eficiência do Sistema Produtivo

Para analisar a eficiência do sistema produtivo, foi calculado o OEE (equação 3.4) da Zona PA. Para tal, foram calculadas a Disponibilidade Operacional, Desempenho e Qualidade recorrendo às equações 3.1, 3.2 e 3.3, respetivamente. Os resultados para um período de 8 semanas (de 4 de março a 28 de abril de 2024) estão representados na Tabela 4.3.

Será de referir que, para o cálculo da Qualidade, foram considerados como produtos conformes aqueles que não teriam reparações a efetuar ao chegar ao fim da Zona PA.

Tabela 4.3 - Zona PA: Disponibilidade Operacional, Desempenho, Qualidade e OEE

Zona PA	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13	Sem 14	Sem 15	Sem 16	Sem 17	Total
DO	92,93%	93,51%	94,14%	93,75%	92,67%	91,37%	92,97%	95,60%	93,29%
Desempenho	100,61%	99,58%	99,63%	99,49%	101,03%	100,72%	101,49%	95,73%	99,89%
Qualidade	74,59%	74,75%	81,81%	75,97%	84,23%	78,54%	81,98%	84,12%	79,53%
<b>OEE</b>	<b>69,74%</b>	<b>69,61%</b>	<b>76,73%</b>	<b>70,86%</b>	<b>78,87%</b>	<b>72,28%</b>	<b>77,36%</b>	<b>76,98%</b>	<b>74,12%</b>

Ao observar os dados presentes na Tabela 4.3 verifica-se que o OEE total das 8 semanas tem um valor de 74,12%. Acrescenta-se ainda que a métrica com maior impacto na descida do OEE é a Qualidade, seguindo-se a Disponibilidade Operacional. Os valores do Desempenho conseguem ultrapassar o 100% nas semanas em análise, uma vez que, quando o sistema tem estações vazias, os operadores aceleram o processo e iniciam-no em estações anteriores para libertar a sua estação o mais rápido possível. Isto é possível apenas porque esta linha de produção é do tipo *stop-and-go*.

De seguida, foi realizada a análise do comportamento do *buffer* que fornece o produto da Zona PA à Zona DK, mais especificamente à estação DK10. Antes de analisar a taxa de ocupação do *buffer* PA, será apresentado o seu modo de organização e de gestão (Figura 4.4).

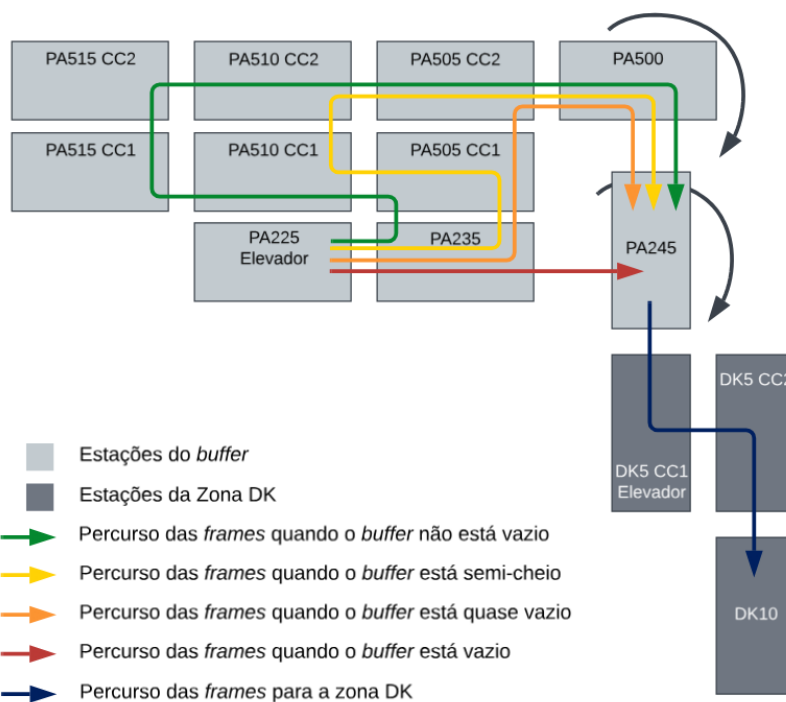


Figura 4.4 - Buffer PA e caminhos seguidos pelas frames

O *buffer* PA tem a possibilidade de seguir quatro caminhos consoante o número de *frames* que circula no *buffer*, sendo o caminho mais curto (vermelho) utilizado quando o *buffer* se encontra vazio e, à medida que vai enchendo, as *frames* seguem o caminho laranja, amarelo e então verde.

O *buffer* apenas começa a libertar a posição PA235 quando entra no elevador PA225 a próxima *frame* a ocupar esse local, como apresentado no cenário presente na Figura 4.5. Isto significa que as *frames* não se posicionam numa fila contínua quando o *buffer* não está 100% preenchido.

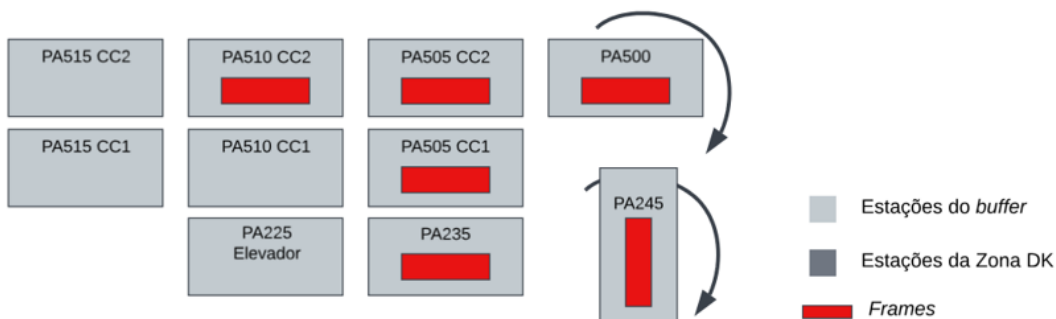


Figura 4.5 - Ocupação do *buffer* PA num cenário de ocupação com 6 *frames*

Quando o *buffer* tem 6 *frames*, a *frame* na posição PA505 CC1 espera que entre uma *frame* no elevador PA225 para seguir para a posição PA510 CC1, e então a PA235 poderá

seguir para a PA505 CC1. A *frame* não segue automaticamente este caminho porque caso a posição P505 CC2 fique livre antes da chegada de uma *frame* ao elevador PA225, poderá ser seguido o caminho laranja. Este tipo de gestão é equivalente para os restantes cenários de ocupação do *buffer* PA. As *frames* vão posicionar-se o mais no início do *buffer* possível para, caso o *buffer* esvazie, não tenha de ser seguido um dos caminhos mais longos. A acrescentar, quando uma *frame* está a ir da posição PA510 CC1 para a PA515 CC1, a *frame* que irá da PA505 CC1 para a PA510 CC1 apenas pode começar a movimentar-se quando a outra termina a sua deslocação até à PA515 CC1. O mesmo acontece com todas as posições do *buffer*.

Por observação da estação DK10 e do *buffer* foi possível concluir que a estação DK10 fica à espera da chegada da *frame* proveniente da Zona PA quando a ocupação do *buffer* PA é igual ou inferior a duas *frames*. Esta constatação verifica-se devido ao tempo necessário para o produto percorrer o *buffer*. Constatou-se também que o elevador PA225 fica à espera para posicionar uma *frame* no *buffer* e, conseqüentemente, causa espera em toda a Zona PA, quando a ocupação do *buffer* é igual ou superior a 6 *frames*.

Para verificar o comportamento deste *buffer* foram retirados dados da sua ocupação de 14 a 21 de março de 2024 de um dos sistemas de informação utilizados na Autoeuropa. Estes dados foram tratados, retirando os tempos de não produção, e apresentados na Figura 4.6.

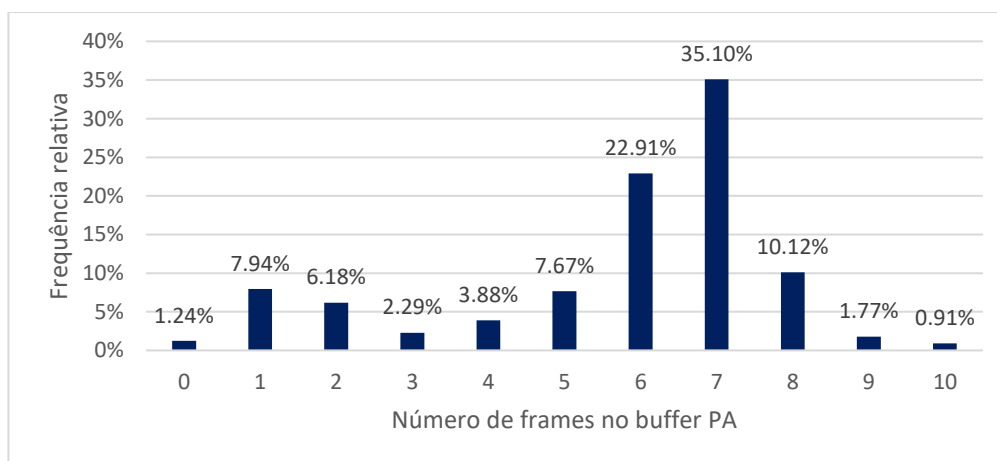


Figura 4.6 - Frequência da ocupação do *buffer* PA durante uma semana

Ao somar a frequência com que o *buffer* PA se encontra com uma ocupação igual ou inferior a duas *frames*, obteve-se a frequência com que a estação DK10 espera por uma *frame* (equação 4.1).

$$1,24\% + 7,94\% + 6,18\% = 15,35\% \quad (4.1)$$

É possível constatar que o *buffer*PA, no período em análise, foi um motivo de espera na estação DK10 durante 15,35% da semana.

Para obter a frequência de tempo em que a ocupação do *buffer*PA causa espera na Zona PA, efetuou-se a soma das frequências em que a ocupação do *buffer* é igual ou superior a seis *frames* (equação 4.2).

$$22,91\% + 35,10\% + 10,12\% + 1,77\% + 0,91\% = 70,81\% \quad (4.2)$$

No que diz respeito à Zona PA, 70,81% do tempo em análise, o *buffer* PA teve uma ocupação que causa espera nesta linha de produção.

### 4.1.3 Cronometragem de Tempos de Ciclo e de Processo

Para proceder com a análise da Zona PA, foi efetuada a cronometragem dos tempos de ciclo e tempos de processo de todas as suas estações. Além destas, foram também cronometradas as estações ED140 e ED145 uma vez que fornecem à Zona PA o motor, e as estações DK10 e 42 (da Zona B1), já que na DK10 é feita a junção da carroçaria construída na Zona B1 com o chassis proveniente da Zona PA.

A cronometragem do tempo de ciclo foi efetuada fixando um ponto, completando um tempo de ciclo a cada veículo que passava no local. Para o tempo de processo, a cronometragem inicia-se no mesmo instante, terminando quando os operadores puxam a corda de libertação de estação. No tempo de processo é, portanto, considerado o tempo de transferência do produto até à estação. Este foi incluído pelo facto de a fábrica contabilizar este tempo nas operações para balanceamento da linha de produção. Desta maneira, o tempo de espera define-se apenas como o tempo que o produto está parado sem ser efetuado trabalho no mesmo, excluindo a sua movimentação na estação.

Ao calcular a dimensão aceitável da amostra para cada estação de trabalho, de acordo com a equação 3.5, procurou satisfazer-se um intervalo de confiança de 95% e um erro de 2%. Tais valores foram considerados mediante a variabilidade existente nas estações de trabalho da linha, causada pelas várias variantes existentes no sistema. Foi considerado, no entanto, um intervalo de confiança de 99% e um erro de 1,5% para as estações DK10 e estação 42 da zona B1, uma vez que estas apresentam um tempo de ciclo mais estável. A dimensão das amostras aceitável calculada e a dimensão da amostra retirada são apresentadas, por estação de trabalho, na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Número de observações a retirar por estação de trabalho

Zona	Estação	Nº aceitável da amostra	Dimensão da amostra recolhida
ED	ED140	378	51
	ED145	302	51
PA	PA5	238	51
	PA10	236	104
	PA20	70	51
	PA30	167	51
	PA35	79	51
	PA40	253	361
	PA50	229	51
	PA60	299	51
	PA75	50	51
	PA80	25	51
	PA90	48	51
	PA100	60	51
	PA120	164	51
	PA130	57	51
	PA140	191	51
	PA150	182	51
	PA160	196	51
	PA170	84	51
	PA180	64	51
	PA185	185	51
	PA190	268	51
	PA200	637	51
PA210	46	207	
PA220	94	51	
PA225	15	51	
B1	42	1	51
DK	DK10	7	578

Após realizar os cálculos para obtenção do número aceitável de observações a realizar para cada estação, optou-se por retirar amostras de maior dimensão na primeira e última estação da Zona PA (PA10 e PA210), ainda que não tenha sido possível atingir o número de observações aceitável na estação PA10. A acrescentar, a estação PA40, que é diretamente abastecida pelo *Engine Dress*, teve um maior foco pela necessidade de ter dois componentes disponíveis para realizar o seu processo. A estação DK10 teve também um estudo mais profundo, uma vez que esta é abastecida por duas linhas, sendo uma delas o *Pre-Assembly*.

Nas restantes estações optou-se por recolher 51 observações, o que para algumas estações não é suficiente para obter o intervalo de confiança definido. Esta decisão foi tomada,

uma vez que não seria possível recolher a quantidade de dados necessários manualmente durante o período disponibilizado na empresa, devendo, por isso, ser efetuado um estudo mais pormenorizado futuramente.

#### 4.1.4 Tempos de Ciclo, de Processo e de Espera

Procede-se à apresentação dos tempos de ciclo, incluindo o tempo do processo e de espera, obtidos através da cronometragem para cada estação. Com os dados recolhidos para cada estação de trabalho, foram retirados os *outliers* dos tempos de ciclo recolhidos por estação e dos tempos de processo recolhidos por estação. A Tabela 4.5 apresenta o exemplo deste procedimento na estação de trabalho PA10 para os tempos de processo, em que foram utilizadas as equações 3.6, 3.7 e 3.8 para o cálculo do IQR, do Limite Inferior (LI) e do Limite Superior (LS), respetivamente.

Tabela 4.5 - Análise de *outliers*: Exemplo

Média	64,11 seg
Q1	59,63 seg
Q3	67,59 seg
IQR	7,96 seg
LI	52,17 seg
LS	76,05 seg
Nº de <i>outliers</i>	9 <i>outliers</i>

Na cronometragem dos tempos de processo para a estação PA10 foram detetados 9 *outliers*. A Figura 4.7 representa a dispersão dos tempos observados.

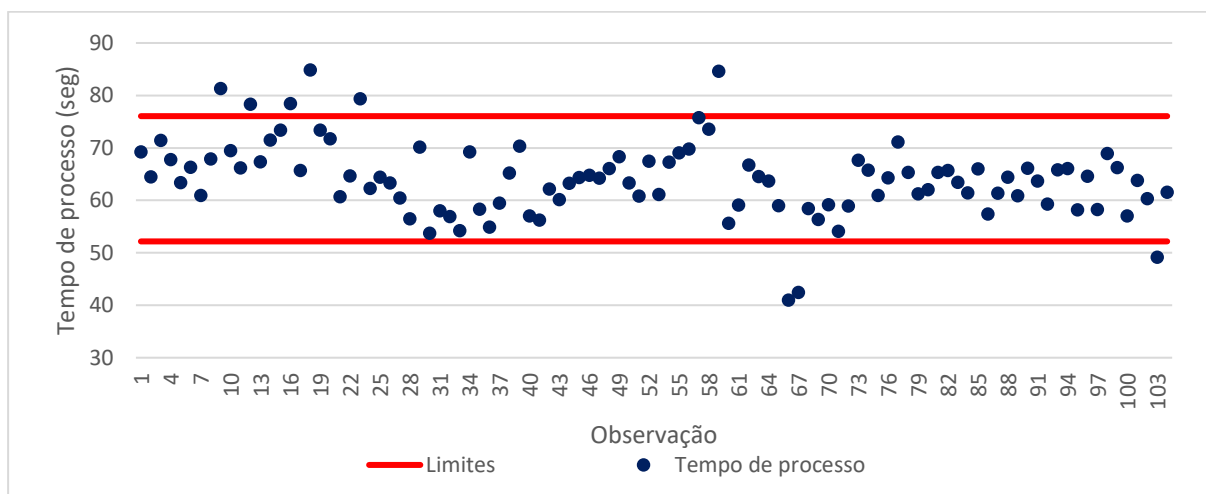


Figura 4.7 - Dispersão dos tempos de processo observados: Exemplo

Verifica-se que existem *outliers* tanto acima como abaixo dos limites. A Tabela 4.6 apresenta as causas associadas a esses *outliers*.

Tabela 4.6 - Causas para a existência de *outliers*: Exemplo

	<i>Outliers</i> acima do LS	<i>Outliers</i> abaixo do LI
Causas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variante com processo mais complexo;</li> <li>• Operador com dificuldade em realizar uma das operações;</li> <li>• Operador não tinha as peças preparadas para o processo quando o veículo começa a entrar na estação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variante com processo menos complexo;</li> <li>• Operador iniciou o processo enquanto o veículo ainda está a entrar na estação.</li> </ul>

Os valores de tempo de processo e tempo de ciclo (soma do tempo de processo e tempo de espera), após o tratamento de *outliers*, são apresentados na Tabela 4.7 e Figura 4.8.

Tabela 4.7 - Tempos de processo, espera e ciclo por estação

Zona	Estação	Tempo de processo (seg)	Tempo de espera (seg)	Tempo de ciclo (seg)
ED	ED140	47,85	24,90	72,75
	ED145	58,05	22,14	80,19
PA	PA5	60,31	11,81	72,11
	PA10	63,66	11,08	74,74
	PA20	47,55	27,23	74,78
	PA30	62,51	7,92	70,43
	PA35	57,99	17,94	75,92
	PA40	54,94	15,42	70,36
	PA50	55,18	16,90	72,08
	PA60	47,24	23,60	70,84
	PA75	53,30	21,70	75,00
	PA80	56,65	18,09	74,74

Tabela 4.7 - Tempos de processo, espera e ciclo por estação (continuação)

Zona	Estação	Tempo de processo (seg)	Tempo de espera (seg)	Tempo de ciclo (seg)
PA	PA90	71,72	4,46	76,17
	PA100	53,71	18,40	72,11
	PA120	53,84	20,83	74,67
	PA130	45,62	30,09	75,71
	PA140	61,92	6,96	68,88
	PA150	61,25	9,68	70,92
	PA160	71,95	2,34	74,29
	PA170	48,14	25,81	73,95
	PA180	53,10	23,59	76,69
	PA185	49,94	25,92	75,86
	PA190	56,04	18,22	74,27
	PA200	53,02	13,36	66,39
	PA210	54,41	19,49	73,90
	PA220	29,97	38,54	68,52
PA225	62,45	11,86	74,31	
B1	42	46,58	29,00	75,58
DK	DK10	72,64	1,79	74,44

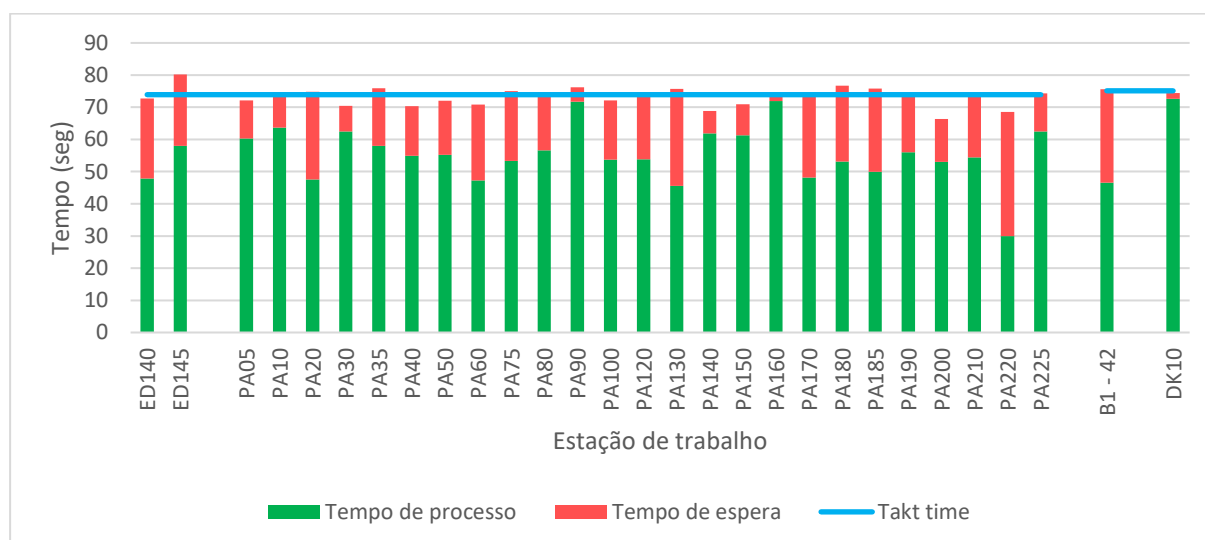


Figura 4.8 - Tempos de ciclo, de processo e de espera das estações de trabalho

Ao analisar a Figura 4.8, é importante referir que, para esta análise, o *takt time* considerado corresponde ao tempo de ciclo teórico da linha de produção, sendo que para a Zona B o valor é 75,12 segundos e para a Zona C 73,92 segundos.

No que diz respeito aos tempos de processo, nenhuma das estações ultrapassa o *takt time*, embora as estações PA90, PA160 e DK10 se encontrem próximas deste valor. Já os tempos de ciclo de algumas das estações em análise ultrapassam o *takt time*, o que significa que

a linha de produção não está a cumprir a cadência de produção requerida. É também de referir que o produto ao terminar o seu processo numa estação, apenas pode seguir para a próxima se essa estiver livre. Caso contrário, continuará a ocupar a estação onde se encontra, não permitindo que o veículo seguinte entre nessa estação para começar o processo, originando, uma cadeia de espera ao longo da linha.

Para entender a principal origem do tempo de espera identificado recorreu-se à ferramenta 5W segundo a lógica apresentada na Figura 4.9. Verificou-se que a origem estaria no funcionamento do *buffer*.

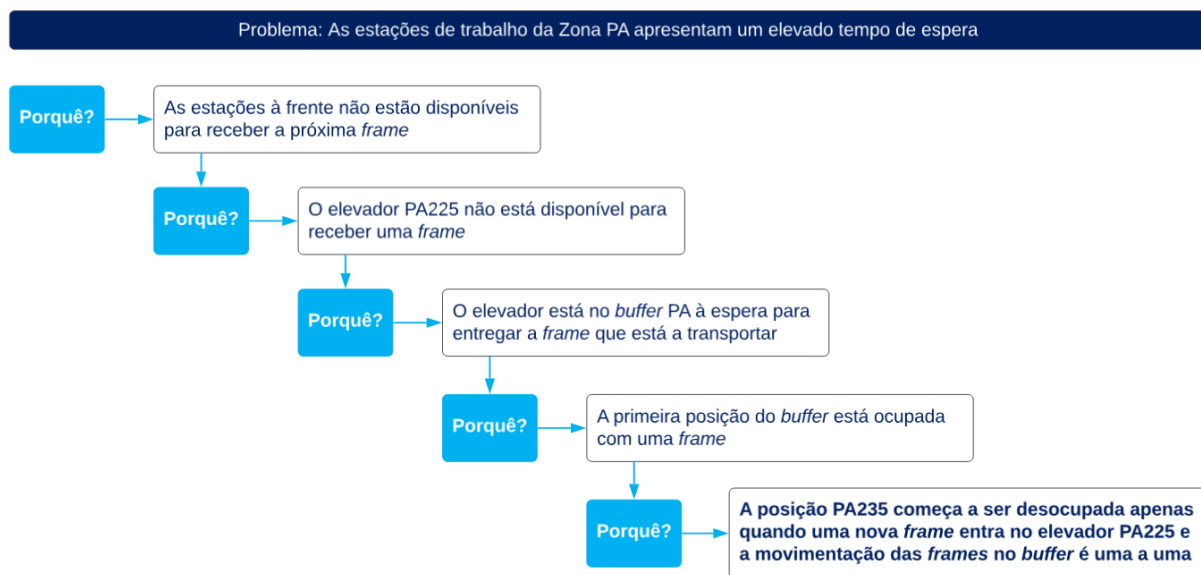


Figura 4.9 - Aplicação do 5W: Estações da Zona PA com elevados tempos de espera

Desta forma, verifica-se que a organização do *buffer* PA é a origem do tempo de espera verificado ao longo da Zona PA, uma vez que, quando este apresenta uma ocupação igual ou superior a 6 *frames*, o elevador PA225 não consegue cumprir o *takt time*.

Seguidamente, foi elaborado o gráfico presente na Figura 4.10, em que são expostos lado a lado os tempos de ciclo com e sem *outliers* e, mais uma vez, com a linha do *takt time* para identificar se esta é ultrapassada. A Tabela 4.8 apresenta a média dos tempos de ciclo obtidos por estação e o desvio padrão a estes associados.

Tabela 4.8 - Tempos de ciclo e desvios padrão por estação com e sem *outliers*

Zona	Estação	Com <i>outliers</i>		Sem <i>outliers</i>	
		Tempo de ciclo (seg)	Desvio padrão (seg)	Tempo de ciclo (seg)	Desvio padrão (seg)
ED	ED140	77,25	25,73	72,75	17,69
	ED145	84,21	27,21	80,19	18,57

Tabela 4.8 - Tempos de ciclo e desvios padrão por estação com e sem *outliers* (continuação)

Zona	Estação	Com <i>outliers</i>		Sem <i>outliers</i>	
		Tempo de ciclo (seg)	Desvio padrão (seg)	Tempo de ciclo (seg)	Desvio padrão (seg)
PA	PA5	77,36	21,64	72,11	6,70
	PA10	79,85	34,68	74,74	5,91
	PA20	76,86	13,06	74,78	10,09
	PA30	75,92	26,55	70,43	9,28
	PA35	77,03	14,24	75,92	11,97
	PA40	75,24	22,07	70,36	9,94
	PA50	77,03	21,29	72,08	8,16
	PA60	74,03	23,92	70,84	16,54
	PA75	78,02	16,73	75,00	7,39
	PA80	75,18	8,68	74,74	8,16
	PA90	78,64	11,45	76,17	7,81
	PA100	74,09	11,88	72,11	8,56
	PA120	78,78	22,56	74,67	11,36
	PA130	77,95	20,18	75,71	9,19
	PA140	76,29	28,60	68,88	10,12
	PA150	75,79	19,28	70,92	8,23
	PA160	82,18	27,33	74,29	8,25
	PA170	76,18	21,17	73,95	11,52
	PA180	77,12	11,55	76,69	7,29
	PA185	78,77	18,43	75,86	5,41
	PA190	78,45	22,61	74,27	3,33
	PA200	83,09	50,26	66,39	14,20
PA210	76,38	18,71	73,90	7,63	
PA220	67,50	11,39	68,52	8,45	
PA225	75,33	5,07	74,31	2,43	
B1	42	75,60	2,61	75,58	0,86
DK	DK10	76,93	11,57	74,44	2,16

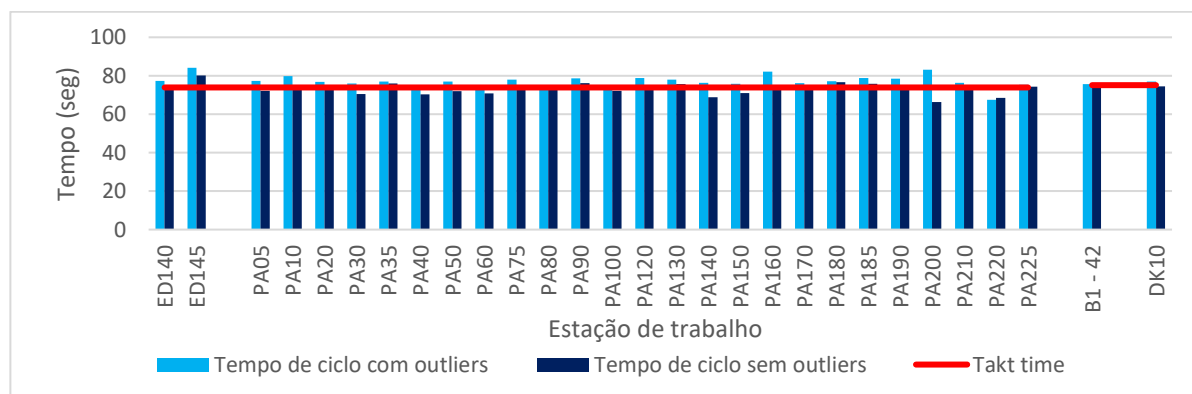


Figura 4.10 - Tempos de ciclo das estações de trabalho com e sem *outliers*

Verifica-se então que, ao incluir os *outliers* para o cálculo do tempo de ciclo médio, este valor sobe, apresentando-se a única exceção na PA220. Assim, observa-se que o *takt time* a cumprir é excedido mais acentuadamente que o presente na Figura 4.8.

Em relação aos desvios padrão obtidos, verifica-se que as estações de trabalho da Zona C apresentam uma elevada variabilidade. Isto pode ser justificado por esta zona ser constituída maioritariamente por estações de trabalho manuais e seguir uma produção do tipo *stop-and-go*, em que o produto apenas segue para a próxima estação quando é sinalizado que o trabalho na estação foi terminado.

Já as estações de trabalho da Zona B analisadas apresentam uma variabilidade reduzida no que diz respeito ao tempo de ciclo. O reduzido desvio padrão da estação 42 da Zona B1 explica-se pelo facto de esta linha apresentar um fluxo contínuo, estando o produto sempre em movimento. A estação DK10, por estar na Zona DK que é constituída maioritariamente por estações automáticas, reduz a variabilidade proveniente do fator humano. Note-se que, uma vez que entre estações não existe espaço para filas de espera, caso uma estação ainda esteja ocupada com trabalho, o produto seguinte terá de ficar a ocupar a estação em que acabou de sofrer um processo, estando os tempos de ciclo em cada estação interrelacionados.

Os dados obtidos para os tempos de processo e respetivo desvio padrão para cada estação de trabalho, apresentando os valores antes e após a remoção de *outliers*, são apresentados na Tabela 4.9. A comparação dos tempos de processo com e sem *outliers* é apresentada na Figura 4.11.

Tabela 4.9 - Tempos de processo e desvios padrão por estação com e sem *outliers*

Zona	Estação	Com <i>outliers</i>		Sem <i>outliers</i>	
		Tempo de processo (seg)	Desvio padrão (seg)	Tempo de processo (seg)	Desvio padrão (seg)
ED	ED140	50,30	15,97	47,85	12,72
	ED145	59,56	15,72	58,05	14,08
PA	PA5	60,29	0,33	60,31	0,26
	PA10	64,11	7,19	63,66	4,93
	PA20	48,22	5,28	47,55	0,86
	PA30	62,51	5,84	62,51	5,84
	PA35	58,04	0,57	57,99	0,39
	PA40	54,85	7,48	54,94	6,68
	PA50	56,02	12,17	55,18	10,68
	PA60	49,78	16,15	47,24	12,73
	PA75	53,26	0,52	53,30	0,40
	PA80	57,14	4,94	56,65	3,47
PA90	71,69	9,45	71,72	6,99	

Tabela 4.9 - Tempos de processo e desvios padrão por estação com e sem *outliers* (continuação)

Zona	Estação	Com <i>outliers</i>		Sem <i>outliers</i>	
		Tempo de processo (seg)	Desvio padrão (seg)	Tempo de processo (seg)	Desvio padrão (seg)
PA	PA100	53,71	9,35	53,71	9,35
	PA120	53,84	12,70	53,84	12,70
	PA130	46,15	2,51	45,62	1,50
	PA140	62,26	7,28	61,92	4,70
	PA150	63,49	10,21	61,25	5,91
	PA160	73,27	16,92	71,95	9,00
	PA170	48,69	11,12	48,14	10,51
	PA180	54,61	10,30	53,10	5,67
	PA185	50,13	1,00	49,94	0,46
	PA190	56,52	9,68	56,04	9,14
	PA200	52,51	8,29	53,02	7,52
	PA210	55,76	13,06	54,41	9,92
	PA220	30,15	1,09	29,97	0,58
	PA225	62,39	0,76	62,45	0,19
B1	42	48,14	11,32	46,58	9,69
DK	DK10	72,95	4,45	72,64	0,25

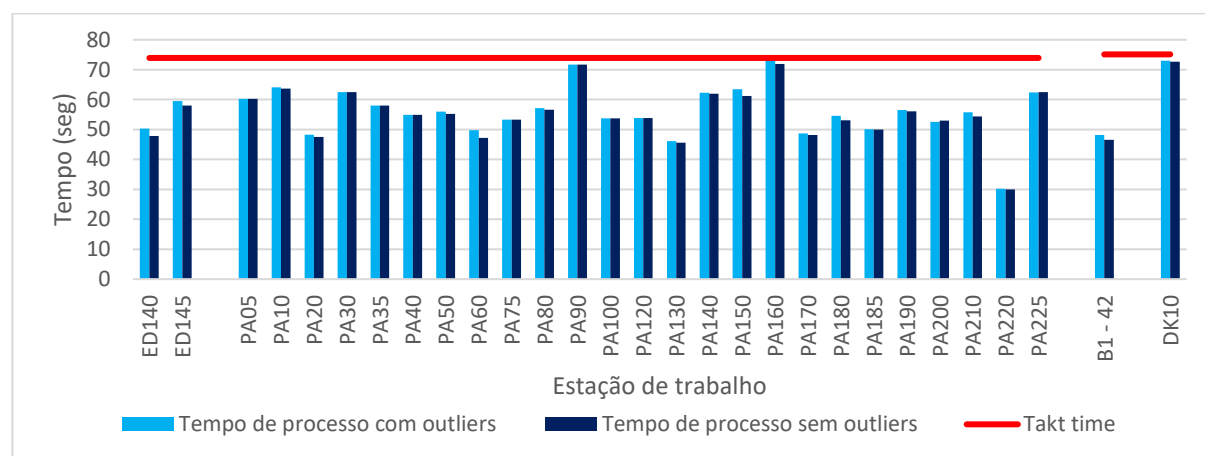


Figura 4.11 - Tempos de processo das estações de trabalho com e sem *outliers*

Ao observar a Figura 4.11, é possível constatar que o tempo médio de processo sem o tratamento de *outliers* é semelhante ao obtido quando os *outliers* são retirados. Pela dispersão das observações apresentadas no exemplo da Figura 4.7, verifica-se que existem *outliers* tanto acima do Limite Superior como abaixo do Limite Inferior. Isto pode justificar o facto da média das observações se manter constante após a remoção dos *outliers*.

Relativamente à variabilidade nos tempos de processo, as estações automáticas apresentam um menor desvio padrão. As estações manuais apresentam uma maior variabilidade, proveniente do fator humano e do trabalho alocado à estação para cada variante.

## 4.1.5 Estudo de Tempos nas Estações PA210 e ED145

De seguida, para efetuar uma comparação da média dos tempos de processo cronometrados para cada estação com os tempos de processo presentes nas fichas de trabalho, foi efetuado um estudo de tempos nas estações de trabalho PA210 e ED145, uma vez que estas não teriam nenhum efetuado. Pela especificidade das atividades efetuadas pelo operador nestas estações, optou-se por utilizar o MTM-1, uma vez que os restantes métodos exibem uma aglomeração dos movimentos básicos demasiado abrangente para algumas das atividades realizadas pelos operadores.

De referir que, como estas estações não incluem uma ficha de trabalho, os operadores tendem a variar a ordem das operações na realização da inspeção, pelo que foi necessário assumir uma sequência para a elaboração dos estudos. As sequências consideradas foram definidas por observação do posto de trabalho e por informação dada pelos operadores. Procurou-se definir as sequências por o que é mais frequentemente observado. A acrescentar, foi também considerada uma reparação para o estudo do tempo, já que quando estas têm de ser feitas, o tempo de processo aumenta consideravelmente. Repare-se que, apesar de ambas as estações serem de inspeção, todos os produtos passam obrigatoriamente por este processo.

### 4.1.5.1 Estação de trabalho PA210

A estação PA210 é constituída por 2 operadores. No entanto, nem todas as equipas dividem o trabalho da mesma maneira. Os turnos A e B dividem os operadores pela estação de modo a que um deles trata da inspeção na parte da frente do chassis, enquanto o outro inspeciona a parte traseira, como é visível na Figura 4.12. O processo realizado pelo operador da parte dianteira será referido como PA210F (PA210 *Front*), enquanto que o da parte traseira será referido como PA210B (PA210 *Back*).

Nos turnos C e D a divisão é efetuada associando um operador à parte direita do chassis e o outro à esquerda. Os seus processos serão referidos, respetivamente, como PA210R (PA210 *Right*) e PA210L (PA210 *Left*).

Nesse sentido, para esta estação, foi efetuado o estudo de tempos para ambas as alternativas. Além disso, o processo de inspeção nesta estação é distinto consoante o tipo de motorização, fazendo-se a distinção de 4 variantes entre veículos manuais e automáticos e veículos a gasóleo e a gasolina.

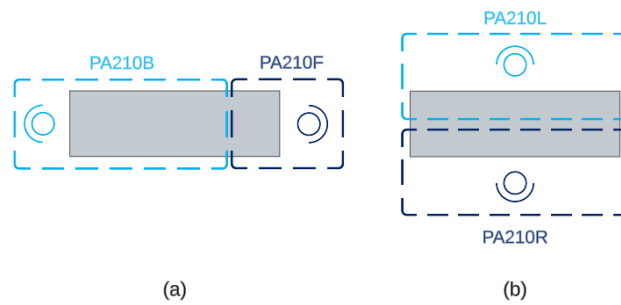


Figura 4.12 - PA210: Distribuição dos operadores por turno

(a) Turnos A e B, (b) Turnos C e D

A reparação utilizada na análise foi escolhida consoante a frequência de ocorrência da reparação. Foram recolhidos dados das reparações efetuadas entre 1 a 30 de abril de 2024 e averiguou-se qual a reparação mais frequente com base no diagrama de Pareto da Figura 4.13. O diagrama apresenta apenas reparações de apertos. As restantes reparações são apontadas pelos operadores e tratadas à parte destas por alguns turnos, enquanto que outros não as apontam, pelo que não foi possível incluí-las no estudo.

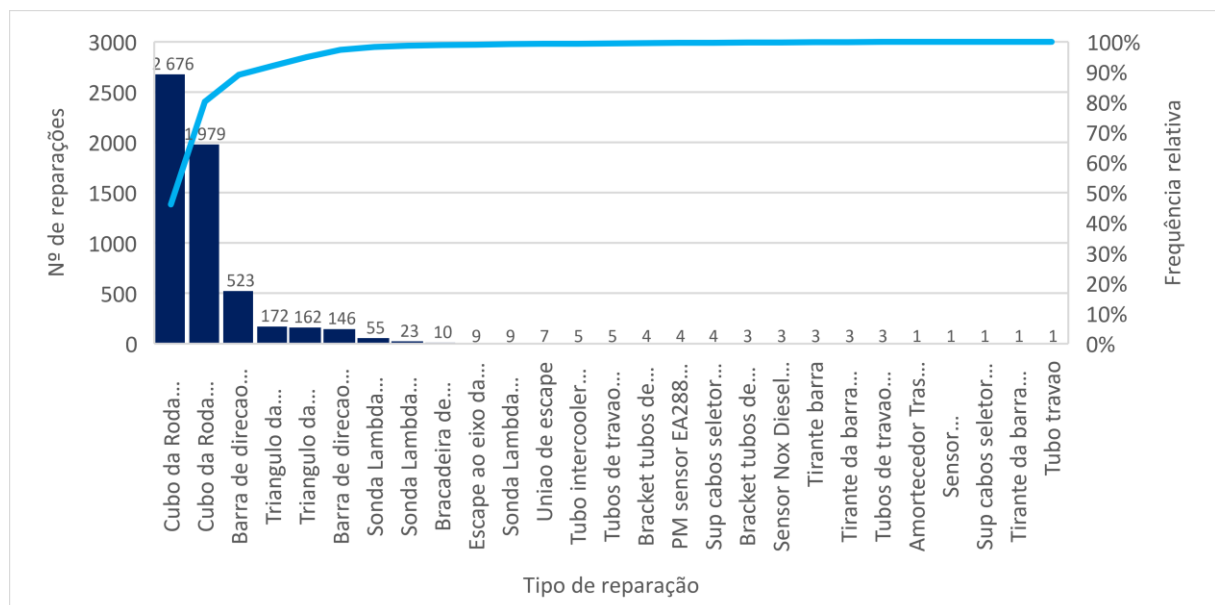


Figura 4.13 - PA210: Diagrama de Pareto das reparações

Observa-se que a reparação do cubo da roda representa 80% das reparações da PA210. Este aperto, efetuado na estação automática PA130, foi considerado no estudo MTM da PA210.

Após a observação do processo foi elaborado um diagrama de esparguete para cada operador, no qual foi representado o trajeto dos operadores no processo mais complexo. Estes diagramas encontram-se na Figura 4.14, sendo diferenciados os casos de cada turno.

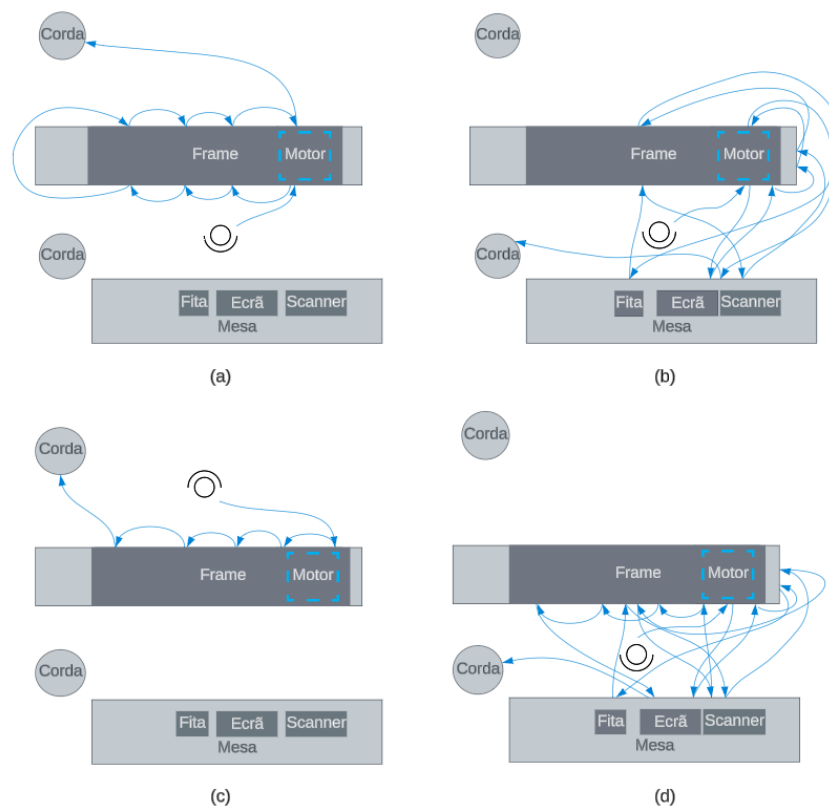


Figura 4.14 - PA210: Diagramas de esparguete dos operadores

(a) PA210B, (b) PA210F, (c) PA210L, (d) PA210R

Ao identificar os movimentos de cada operador foi calculado o tempo normal de processo. A Tabela 4.10 apresenta o procedimento efetuado para obter o tempo normal de duas das operações efetuadas pelo operador da PA210F e pelo operado PA210R da estação PA210: "Descolar a etiqueta do motor" e "Colar a etiqueta na mesa de trabalho".

Tabela 4.10 - Aplicação do MTM-1: Exemplo

Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
Deslocamento até ao motor				45	1,62
Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
Descolar a etiqueta do motor				28,7	1,0332
Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144
Deslocamento até à mesa de trabalho	48,6	1,7496			
Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
Colar a etiqueta na mesa de trabalho	21,8	0,7848			
Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816

O tempo associado à transferência da *frame* para a estação e ao aperto da reparação, uma vez que não são atividades manuais, foram obtidos por cronometragem. As folhas de análise MTM para cada caso são apresentadas no Anexo A (Tabelas A.1 a A.11). Para calcular o tempo normal médio de processo na estação PA210, foi necessário definir o *mix* de veículos. Para tal, foi utilizado o *mix* de veículos produzidos de 1 a 30 de abril de 2024 (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 - PA210: *Mix* de veículos da amostra

Variante		Reparação	<i>Mix</i>
Gasóleo	Automático	Com reparação	1,95%
		Sem reparação	4,52%
	Manual	Com reparação	0,28%
		Sem reparação	1,53%
Gasolina	Automático	Com reparação	10,76%
		Sem reparação	45,95%
	Manual	Com reparação	5,25%
		Sem reparação	29,74%

Com estes valores, foi calculada a média ponderada do tempo normal de processo para cada operador. Para definir o tempo médio normal de processo da estação PA210 foi efetuada a média dos valores obtidos para o operador com maior carga de trabalho do turno. Na Tabela 4.12, são apresentados os valores obtidos.

Tabela 4.12 - PA210: Tempos normais de processo (turno, operador e variante)

Tempo normal de processo (seg)		Gasóleo e automático	Gasóleo e manual	Gasolina e automático	Gasolina e manual	Média (por operador)	Média (processo)	
Turnos A e B	210F	Sem reparação	54,71	49,76	37,77	32,83	40,24	49,58
		Com reparação	70,49	65,54	53,56	48,61		
	210B	Sem reparação	45,87				48,75	
		Com reparação	61,65					
Turnos C e D	210R	Sem reparação	63,09	58,14	48,25	42,90	50,40	
		Com reparação	<b>78,87</b>	<b>73,93</b>	64,04	58,68		
	210L	Sem reparação	30,22				35,26	
		Com reparação	57,86					

Para obter uma melhor perceção do trabalho efetuado na estação consoante os diferentes procedimentos dos turnos, foram elaboradas folhas de trabalho *standard* para cada turno e para cada variante, as quais são apresentadas no Anexo B (Figuras B.1 a B.9). O caso do operador PA210F para a variante "Gasóleo + Automático" é apresentado na Figura 4.15.

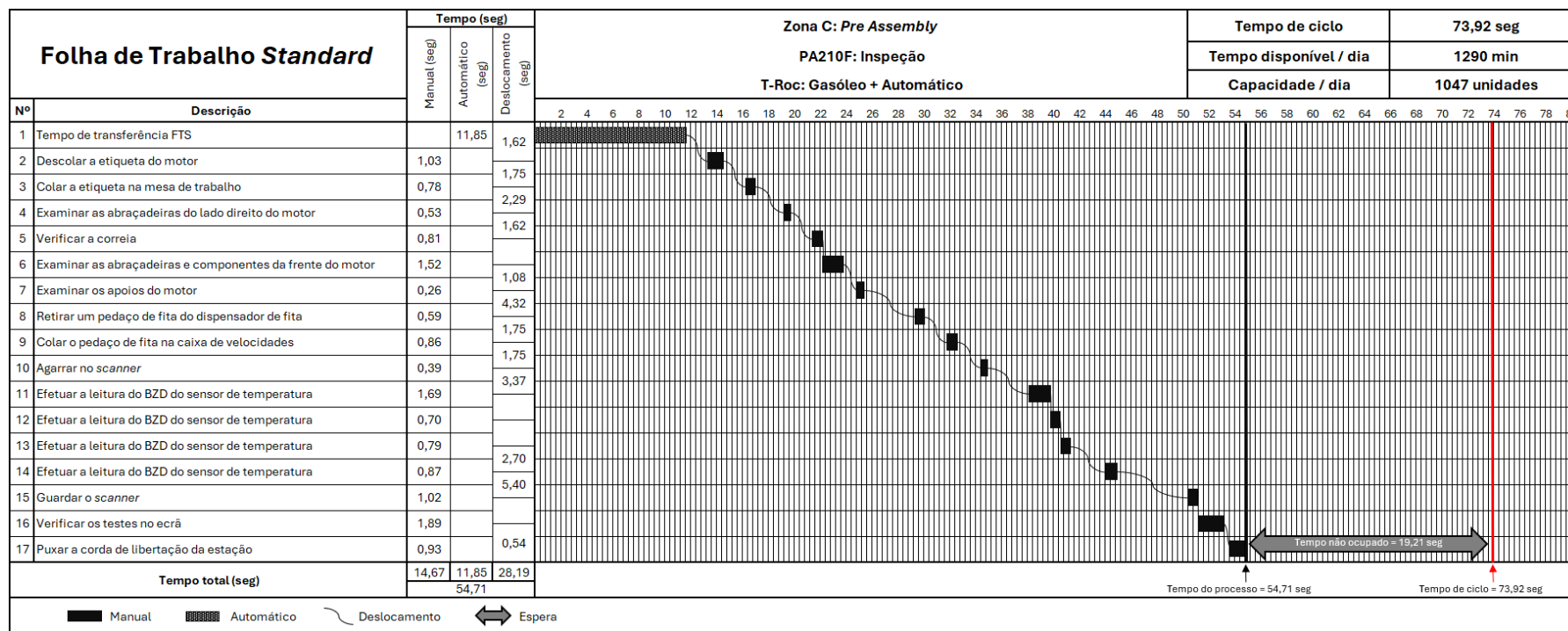


Figura 4.15 - PA210F: Folha de trabalho *standard* ("Gasóleo + Automático")

No caso apresentado, verifica-se que o operador PA210F tem um tempo de processo de 54,71 segundos, estando 28,19 segundos associados a deslocamentos. Assim, o tempo não ocupado do operador é de 19,21 segundos.

A Figura 4.16 apresenta os dados obtidos para os tempos de operações manuais e automáticas e tempo de deslocamento no processo da estação PA210 nos turnos A e B. Os dados referentes aos turnos C e D encontram-se na Figura 4.17.

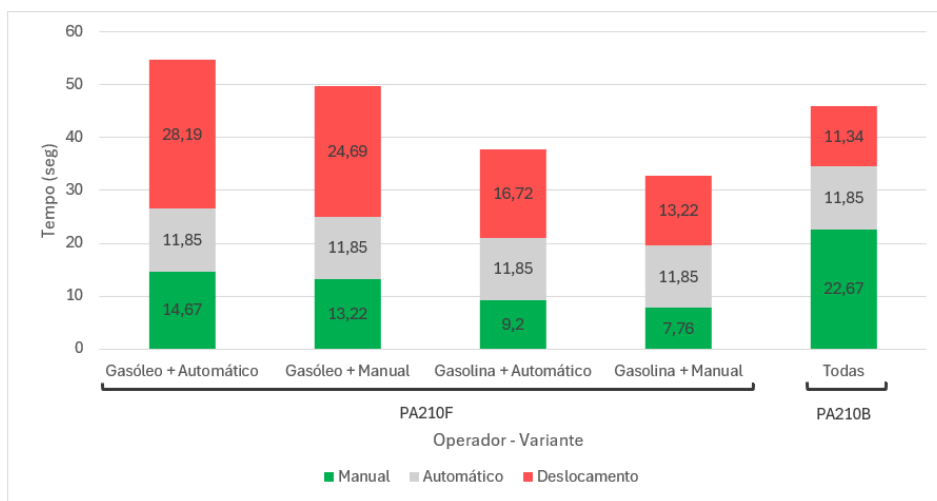


Figura 4.16 - PA210: Tempos de processo por variante (turnos A e B)

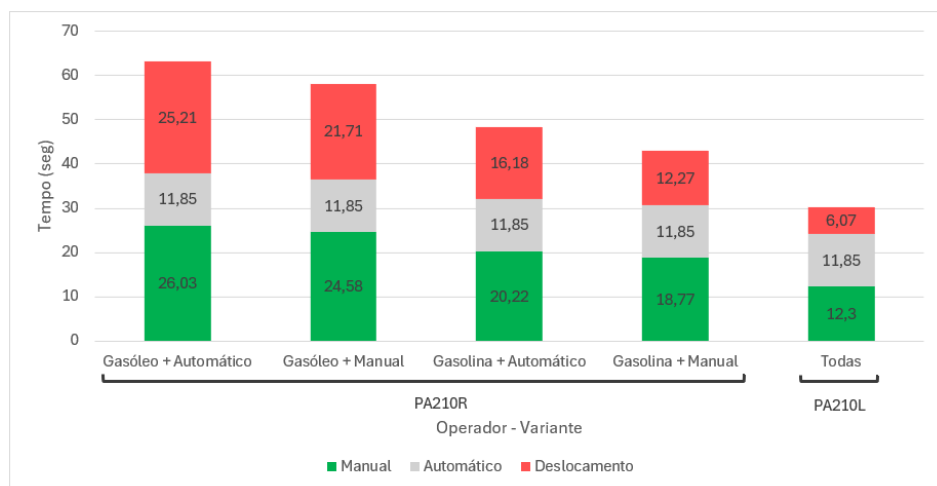


Figura 4.17 - PA210: Tempos de processo por variante (turnos C e D)

Efetuada uma análise em que o operador PA210F (turnos A e B) e o operador PA210R (turnos C e D) são comparados entre si e em que os operadores PA210B e PA210L são comparados entre si, verifica-se que os operadores dos turnos A e B atingem em todas as variantes um tempo de movimentação superior ao dos outros turnos.

A Figura 4.18 apresenta os resultados obtidos para os tempos de operações manuais e automáticas e para os tempos de deslocamento na estação durante o processo para os operadores dos diferentes turnos. Estes valores médios não contabilizam a reparação.

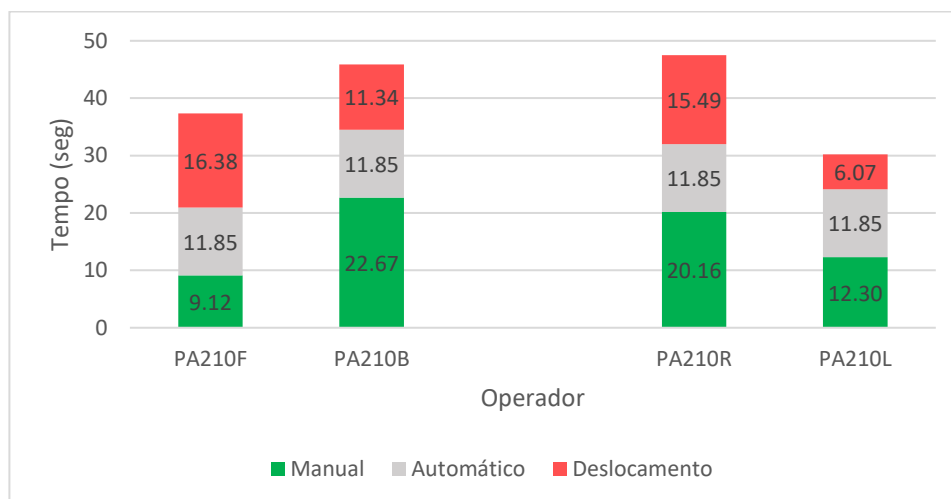


Figura 4.18 - PA210: Tempo normal de processo médio por operador

Ao estudar os dois procedimentos de trabalho utilizados nesta estação, verificou-se que os turnos A e B trabalham de uma maneira mais balanceada entre os dois operadores da estação, tendo estes uma diferença de tempo de processo média de 8,51 segundos. Já os turnos C e D sobrecarregam o operador que trabalha no lado direito do chassi, enquanto o operador da esquerda fica em espera mais tempo, obtendo-se uma diferença de 15,14 segundos entre os tempos normais de processo.

Mais importante, o valor do tempo normal de processo para a variante a gásóleo com mudanças automáticas quando, para além da inspeção, é necessário efetuar a reparação em análise, excede o tempo de ciclo a cumprir, apresentando um tempo normal de processo de 78,87 segundos (4,95 segundos acima do *takt time* considerado para a Zona C). Também o caso da variante a gásóleo e de caixa manual é uma situação crítica quando é considerada a reparação, sendo o tempo de ciclo da linha ultrapassado em 0,01 segundos.

Será de realçar que a inspeção em estudo não corresponde ao tempo máximo de uma inspeção na estação, já que as reparações são imprevisíveis e podem durar mais do que o esperado. Um exemplo disso, será que a reparação em estudo pode ser necessária nos dois lados, para um mesmo veículo. Nesse caso, como apenas existe uma ferramenta para essa reparação específica, apenas é possível realizar uma reparação de cada vez, aumentando o tempo da reparação para cerca do dobro.

Com os tempos médios normais de processo calculados para cada operador, verifica-se que os turnos C e D excedem o tempo normal de processo dos turnos A e B em 2,16 segundos. Em contrapartida, os turnos A e B apresentam o maior tempo de processo associado a atividades de valor não acrescentado, representando desperdícios para o processo.

#### 4.1.5.2 Estação de trabalho ED145

A estação ED145 do *Engine Dress* é também uma estação de inspeção, tendo sido efetuado o estudo de tempos com um procedimento análogo ao efetuado na estação PA210. O diagrama de esparguete relativo aos movimentos do operador desta estação está presente na Figura 4.19.

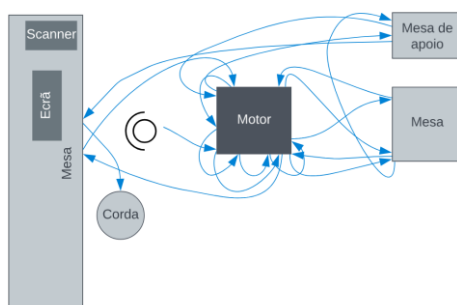


Figura 4.19 - PA145: Diagrama de esparguete do operador

O tempo associado à transferência do motor para a estação foi efetuado seguindo os mesmos procedimentos que na estação PA210.

A reparação considerada, foi escolhida pelo diagrama de Pareto presente na Figura 4.20 (reparações efetuadas de 1 a 30 de abril de 2024). As reparações recolhidas, tal como na estação PA210, foram apenas as que incluem apertos.

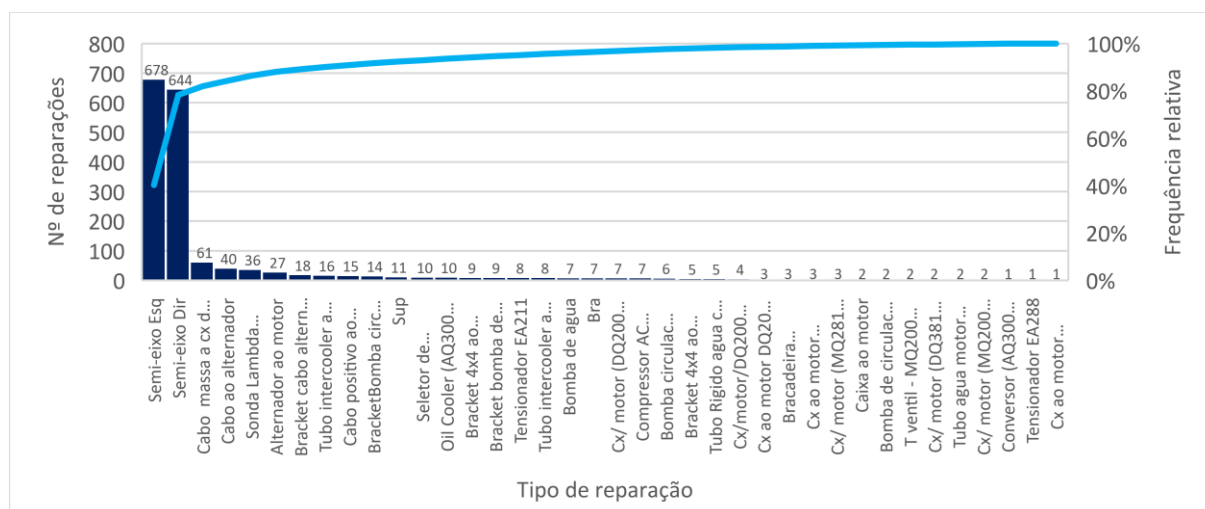


Figura 4.20 - ED145: Diagrama de Pareto das reparações

Verifica-se que a reparação mais representativa na estação é o aperto do semi-eixo, pelo que foi esta a reparação considerada no estudo efetuado. Como esta reparação utiliza uma ferramenta de aperto, a determinação do tempo de trabalho da ferramenta foi efetuada seguindo o mesmo procedimento utilizado para a determinação do tempo de operação da ferramenta utilizada na reparação da estação PA210. As folhas de análise MTM elaboradas para chegar a estes resultados encontram-se nas Tabelas A.12 a A.14 do Anexo A.

Para o cálculo do tempo normal de processo médio foi adotado o mesmo procedimento utilizado no cálculo do tempo normal de processo médio da estação de trabalho PA210, obtendo-se o *mix* representado na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - ED145: *Mix* de veículos da amostra

Variante	Reparação	<i>Mix</i>
Gasóleo / 4x4	Com reparação	0,37%
	Sem reparação	13,53%
Gasolina + 4x2	Com reparação	1,45%
	Sem reparação	84,65%

O tempo normal de processo obtido para a estação ED145, com e sem reparação, para cada uma das variantes definidas está presente na Tabela 4.14. Esta inclui também o tempo normal médio de processo, obtido pela ponderação do *mix* obtido na Tabela 4.13.

Tabela 4.14 - ED145: Tempos normais de processo (variante)

ED145	Gasóleo / 4x4	Gasolina + 4x2	Média
Sem reparação	68,76 seg	55,70 seg	57,90 seg
Com reparação	<b>89,49 seg</b>	<b>76,43 seg</b>	

Ao analisar os resultados obtidos na Tabela 4.14, constata-se que, caso haja uma reparação, nas duas variantes identificadas, o *takt time* da Zona C será excedido. Assim, conclui-se que o risco de exceder o tempo de ciclo nesta estação é elevado.

Será relevante referir que a elevada variabilidade identificada nas estações de inspeção na Tabela 4.9 pode estar relacionada com a existência ou não de reparações e, no caso da estação PA210, com os diferentes métodos de trabalho adotados por cada turno.

## 4.1.6 Comparação dos Tempos de Processo Teóricos e Cronometrados

Com os tempos de processo obtidos através da cronometragem, foi efetuada a sua comparação com os tempos de processo teóricos. Estes provêm de estudos MTM por parte do departamento de Engenharia Industrial nas operações manuais, sendo que no caso das estações ED145 e PA210 este estudo não existia, pelo que foi efetuado na subsecção anterior. Os tempos teóricos das estações automáticas foram fornecidos pelo departamento de Planeamento, sendo estes obtidos através de 10 cronometragens consecutivas. A comparação dos valores reais com os teóricos encontra-se na Figura 4.21.

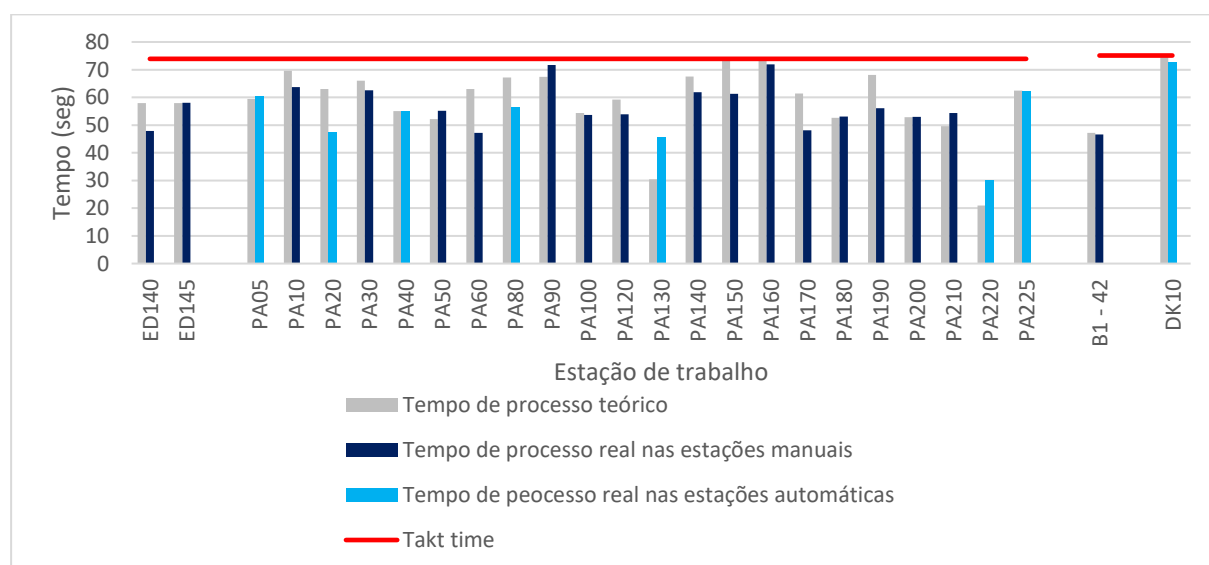


Figura 4.21 - Tempos de processo cronometrados e teóricos por estação

Ao analisar a figura, verifica-se que as estações ED145, PA05, PA40, PA100, PA160, PA180, PA200, PA225, 42 e DK10 apresentam um tempo de processo real semelhante ao teórico.

Já nas estações PA50, PA90, PA130, PA210 e PA220 o tempo de processo cronometrado foi superior ao tempo teórico. Reuniram-se possíveis razões para que o valor do tempo de processo teórico tenha sido ultrapassado:

- Na estação PA50, o operador nem sempre inicia o processo no veículo assim que este chega à estação por estar a efetuar pré-montagens que também lhe estão alocadas;
- A estação PA90 apresenta uma maior dificuldade nas suas operações, sendo que os operadores estão condicionados pelo trabalho um do outro. Além disso, o sistema de libertação de estação na PA90 apresenta falhas na transmissão do

sinal, sendo que os operadores, por vezes, necessitam de acionar este sinal mais do que uma vez;

- No que diz respeito à estação PA210, na qual foi efetuado o estudo de tempos recorrendo a MTM, durante a sua cronometragem, verificou-se que 10,58% dos veículos efetuaram uma reparação e, como já referido anteriormente, as reparações apresentam uma elevada variabilidade e poderão consumir um elevado tempo, levando ao aumento do tempo de processo médio. Isto, por ter de ser efetuada mais do que uma reparação, uma reparação diferente da considerada no estudo de tempos ou por falta de organização do material para efetuar a reparação.
- As estações automáticas PA130 e PA220 excedem o tempo teórico planeado respetivo. Ao tentar identificar as possíveis razões para estas discrepâncias com as equipas de Planeamento e de Manutenção, as justificações encontradas são que o sistema informático nas estações, por vezes, apresenta um maior intervalo de tempo ao passar informação para o equipamento ou para as estações a montante e a jusante, atrasando o tempo de processo cronometrado. Outra causa prende-se com o facto de que o tempo fornecido pelo planeamento é obtido pela média de 10 observações, havendo uma grande probabilidade de esta amostra não ser representativa por as diferentes variantes não terem associado o mesmo tempo de processo.

Será, para além dos pontos referidos, relevante ter em atenção que as discrepâncias obtidas poderão também estar relacionadas com o *mix* de variantes presente nas cronometragens, sendo que nas estações PA50, PA130 e PA220 não foi atingida a dimensão aceitável para a amostra.

As restantes 11 estações estudadas (ED140, PA10, PA20, PA30, PA60, PA80, PA120, PA140, PA150, PA170 e PA190) apresentaram um tempo real de processo inferior ao teórico. Será nesta situação também importante ter em atenção que em uma (PA80) das 10 estações foi recolhida a dimensão aceitável da amostra, podendo levar a discordâncias entre o valor médio calculado e o valor teórico nas restantes situações. As causas encontradas para as diferenças entre os tempos teóricos de processo e os reais são seguidamente apresentadas.

- Nas estações manuais, verificou-se por observação do local de trabalho que, sistematicamente, os operadores iniciam o trabalho no veículo antes de este parar na estação, o que pode levar a que o tempo cronometrado divirja do valor

teórico, uma vez que no valor teórico é considerada a premissa de que o operador apenas pode tocar no veículo quando este se encontra parado;

- As discrepâncias verificadas nos tempos de processo das estações PA20 e PA80 podem ser justificadas pelas mesmas razões encontradas para as estações PA130 e PA220 (tempo associado à passagem de informação e dimensão da amostra recolhida pelo Planeamento);
- As estações PA150 e PA160 têm os mesmos trabalhadores alocados. Quando os operadores terminam o processo na PA150, seguem com o veículo para a PA160 para continuarem o processo. Na estação PA150, é frequente que os operadores terminem o processo dessa estação na estação PA160 para que não se aproximem do tempo de ciclo, o que pode justificar o tempo real inferior ao teórico.

#### 4.1.7 Correlação dos Tempos de Ciclo da Cronometragem

Foi efetuada uma análise comparativa dos tempos de ciclo para um mesmo veículo obtidos por cronometragem, pelo sistema e pelo valor teórico da estação nas estações de trabalho PA10, PA210 e DK10. Estas 3 estações foram escolhidas por se tratarem de estações de trabalho no início e fim das linhas a que pertencem.

É de salientar que o valor teórico utilizado para a estação PA10 é o da ficha de trabalho da estação, o valor da PA210 é o tempo normal médio de processo obtido no estudo MTM realizado da subsecção 4.1.5 e o valor teórico da estação DK10 corresponde ao valor fornecido pela equipa de Planeamento, o qual corresponde à média de 10 tempos consecutivos.

A análise da estação PA10 foi elaborada com 51 observações referentes ao dia 20 de fevereiro de 2024 (Tabela 4.15).

Tabela 4.15 - Matriz de correlação do erro percentual médio na PA10

PA10	Sistema	Cronometragem	Teórico
Sistema		4,82%	<b>14,92%</b>
Cronometragem	4,82%		<b>13,78%</b>
Teórico	<b>14,92%</b>	<b>13,78%</b>	

Verifica-se na Tabela 4.15, que o erro percentual médio obtido entre os tempos de ciclo do sistema e da cronometragem é baixo (inferior a 5%), o que significa que a cronometragem de tempos está a ser feita com precisão quando comparada com os registos do sistema. Quando se procede à comparação dos tempos de ciclo, quer da cronometragem, quer do

sistema, com o tempo de ciclo teórico, o erro percentual médio aumenta. Isto pode ser justificado pelo facto de que, no cálculo do tempo de ciclo teórico que é realizado com recurso ao MTM, no tempo de transferência da *frame* para a estação os operadores não efetuam qualquer trabalho na *frame*. Por observação da estação, verifica-se que tal não acontece e os operadores começam as suas operações enquanto a *frame* ainda está em movimento, podendo originar um desvio nos tempos de ciclo registados em relação ao valor teórico. Também o efeito da variabilidade e imprevisibilidade característico de processos manuais pode ser a causa de um maior desvio.

Ao efetuar a comparação do erro percentual do tempo de ciclo cronometrado no dia 4 de março de 2024 com o tempo de ciclo obtido pelo sistema para a estação PA210, verificou-se um erro percentual médio de 27,84%. A Figura 4.22 expõe os valores do tempo de ciclo cronometrado e do sistema para o mesmo veículo.

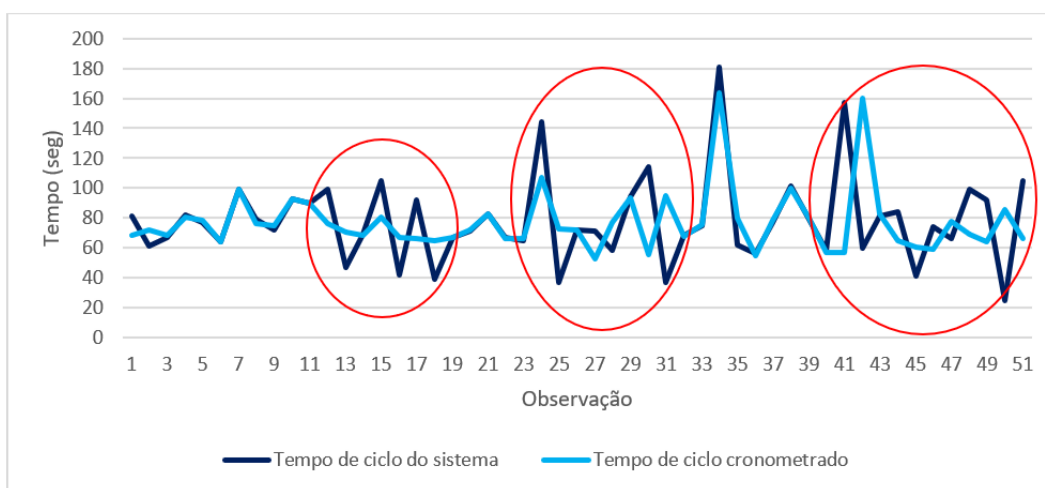


Figura 4.22 - PA210: Tempo de ciclo cronometrado e do sistema - 4 de março de 2024

Ao analisar o gráfico, observam-se divergências dos tempos de ciclo cronometrados e retirados do sistema para o mesmo veículo. Dado estes resultados sem explicação aparente e tendo em consideração o elevado valor do erro percentual obtido, decidiu-se efetuar uma nova análise, recolhendo novas cronometragens e retirando os dados necessários do sistema no dia 3 de abril de 2024. Estes resultados são evidenciados na Figura 4.23.

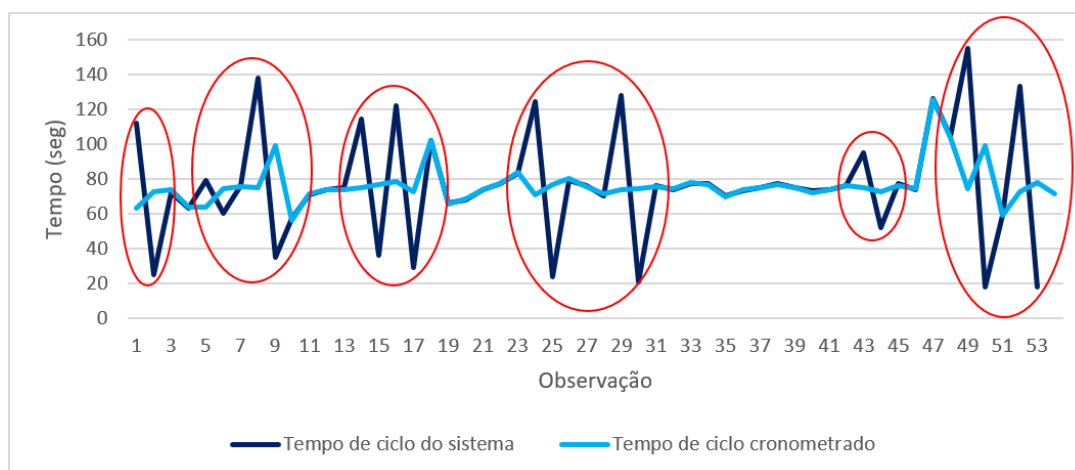


Figura 4.23 - PA210: Tempo de ciclo cronometrado e do sistema - 3 de abril de 2024

Nesta segunda tentativa de comparação dos tempos de ciclo cronometrados com os dados provenientes do sistema informático, com uma amostra constituída por 54 observações, obtiveram-se as mesmas incongruências observadas anteriormente, sendo o erro percentual médio desta 38,88%.

Dada a similaridade dos resultados em ambas as datas de análise da estação PA210, juntaram-se os erros percentuais obtidos em ambas as datas e foi calculado o erro percentual médio final, apresentado na Tabela 4.16, com base no total destes erros percentuais.

Tabela 4.16 - Matriz de correlação do erro percentual médio na PA210

PA210	Sistema	Cronometragem	Teórico
Sistema		36,02%	65,72%
Cronometragem	36,02%		33,14%
Teórico	65,72%	33,14%	

Assim, foi obtido o valor médio do erro percentual do tempo de ciclo entre cronometragem e sistema de 36,02%. Com o erro percentual obtido, deverá ser efetuado um estudo posterior para entender a origem desta discrepância. No que diz respeito à correlação dos valores cronometrados com o teórico, verifica-se também um elevado erro percentual. Este valor pode ser justificado pela variabilidade das operações manuais, tal como na PA10, e pela variabilidade associada às reparações na estação. Em relação à comparação dos valores retirados do sistema e dos valores teóricos, o erro percentual é ainda mais elevado que nos outros dois casos. Isto porque, as causas que justificam o valor elevado do erro percentual em cada um dos casos já expostos, se encontram presentes neste caso, aumentando o erro percentual entre os valores em análise.

Passando à estação DK10, em que foram recolhidas 51 observações correspondentes ao dia 1 de abril de 2024. Os seus resultados são apresentados na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Matriz de correlação do erro percentual médio na DK10

DK10	Sistema	Cronometragem	Teórico
Sistema		6,24%	12,37%
Cronometragem	6,24%		4,29%
Teórico	12,37%	4,29%	

Verifica-se que, ao obter um erro percentual de 4,29%, o valor teórico está correlacionado com os valores cronometrados. Já na comparação dos tempos cronometrados com os retirados do sistema, o valor do erro percentual médio é superior a 5%, pelo que deverá ser efetuado um estudo posterior para entender a causa raiz deste valor. O mesmo acontece com a comparação entre os tempos de ciclo obtidos no sistema informático e o tempo teórico.

### 4.1.8 Estudo da Disponibilidade das Estações Automáticas da Zona PA

A Figura 4.24 apresenta a evolução dos tempos de paragem de cada estação automática entre 4 de março e 28 de abril de 2024.

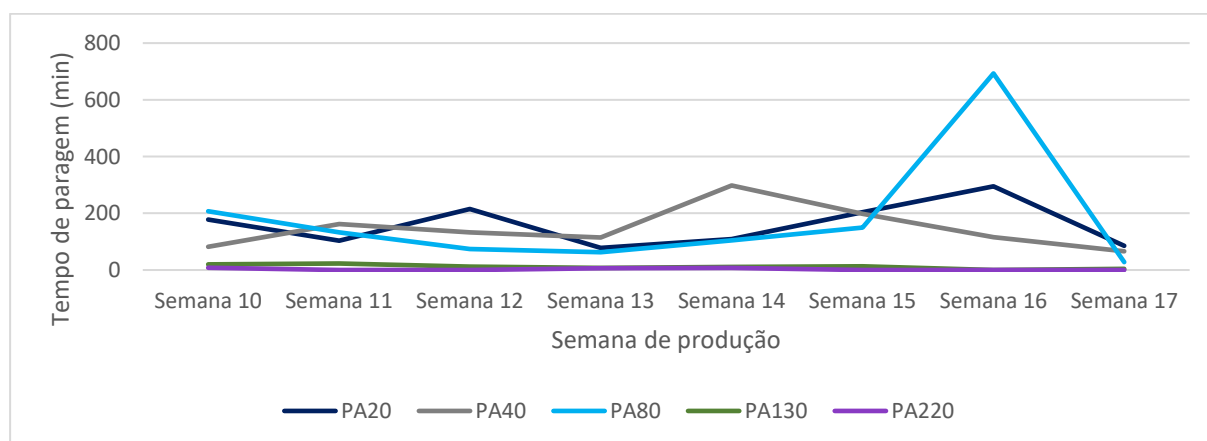


Figura 4.24 - Zona PA: Tempos de paragem das estações automáticas

Será de referir que na semana 14, foram planeadas intervenções da equipa de manutenção na estação PA40, pelo que o valor dessa semana foi mais alto em comparação com as restantes. É também importante ressaltar que na semana 16 ocorreu uma falha na estação PA80 que não foi possível reparar imediatamente, justificando-se o valor mais elevado desta

semana por essa ocorrência, que levou 605 minutos a reparar. Ao falar com os funcionários da equipa de manutenção, considera-se esta ocorrência como uma falha esporádica, uma vez que esta não ocorre frequentemente e foi a única ocorrência deste tipo nas 8 semanas em estudo. Tendo estes aspetos em atenção, pode-se constatar pela figura que as estações que causam maiores tempos de paragem são as PA20, PA40 e PA80.

Na Tabela 4.18, são apresentados os resultados da Disponibilidade de cada uma das estações automáticas, calculada com recurso à equação (3.1). Dado os acontecimentos ocorridos nas semanas 14 e 16, apresentam-se os resultados excluindo as mesmas.

Tabela 4.18 - Zona PA: Disponibilidade das estações automáticas

Estação	Disponibilidade
PA20	98,06%
PA40	98,30%
PA80	98,52%
PA130	99,82%
PA220	99,97%

Pelos resultados obtidos, verifica-se que a disponibilidade dos equipamentos das estações PA220 e PA130 têm uma maior disponibilidade, sendo a PA20 a que está mais tempo indisponível, seguida da PA40 e PA80.

## 4.2 Identificação e Caracterização de Oportunidades de Melhoria (2ª Fase)

No presente subcapítulo são identificadas as fontes de desperdício na Zona PA, bem como a sugestão de medidas para a redução desses desperdícios com base em ferramentas *Lean*, e com recurso à ferramenta de tempos pré-determinados MTM.

Efetuada uma análise aprofundada ao sistema, foi elaborado um *Value Stream Mapping* (VSM) do mesmo. Este serviu de auxílio à identificação de oportunidades de melhoria. A Figura 4.25 representa o VSM do estado atual com as oportunidades de melhoria identificadas. No Anexo C, as Figuras C.1 e C.2 apresentam as secções inicial e final do VSM mais aproximadas, para que este seja analisado com mais pormenor.

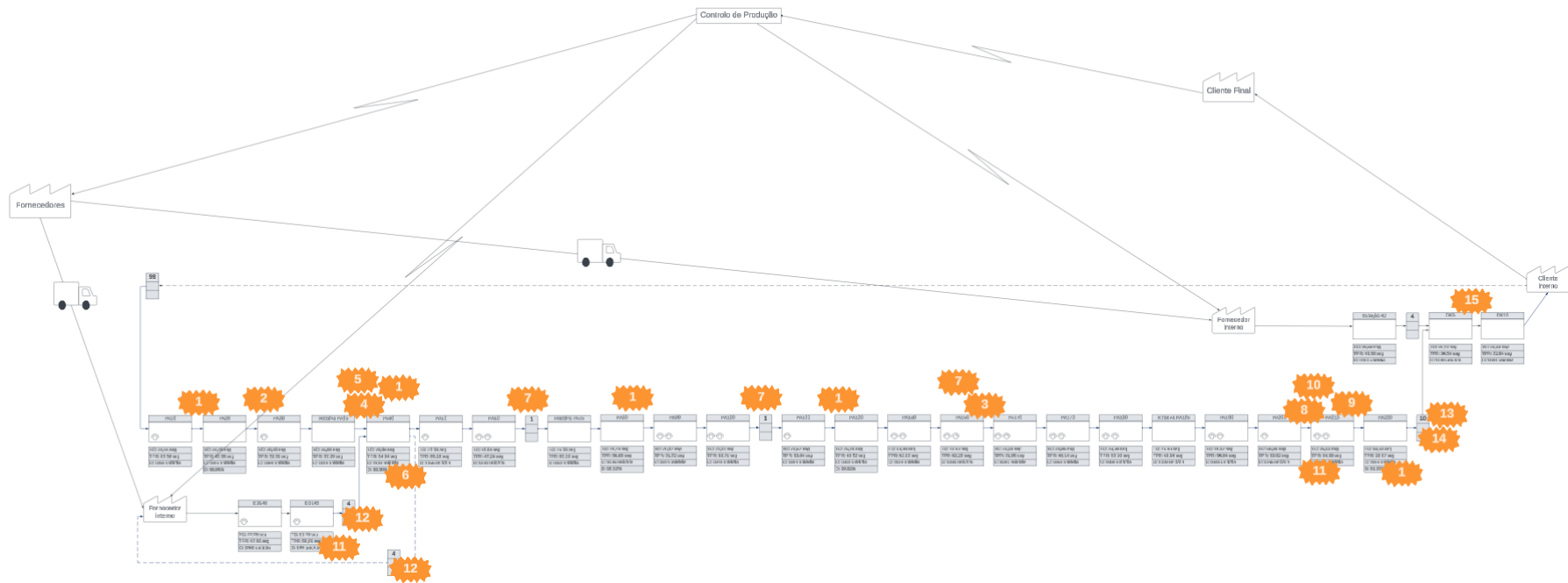


Figura 4.25 - VSM do estado atual com oportunidades das melhorias

A Tabela 4.19 apresenta os desperdícios identificados, as soluções para os mesmos e os benefícios esperados com essas soluções. Foram encontrados 4 dos 7 desperdícios *Lean* ao longo da Zona de *Pre-Assembly*: Espera, Transporte, Movimentação e Defeitos.

Tabela 4.19 - Oportunidades de melhoria identificadas



Estação	Desperdício	Oportunidade de melhoria proposta	Ferramenta de melhoria	Benefício
PA20 PA40 PA80 PA130 PA220	<b>Espera</b> Indisponibilidade de equipamentos	 Implementar um sinal sonoro de aviso de falhas nas estações automáticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Andon</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do MTTR</li> <li>• Aumento da disponibilidade das estações automáticas</li> </ul>
PA30		 Posicionar a câmera de verificação da posição do pino de suporte na estação PA30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Poke-yoke</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de paragem da PA40 em 12%</li> </ul>
PA150	<b>Espera</b> Espera do produto na PA150 para que o trabalho inicie	 Implementar um sinal luminoso de aviso de que o próximo veículo tem trabalho na estação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestão visual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de espera do veículo na estação</li> </ul>
PA40	<b>Espera</b> Espera por <i>frame</i> na PA40	 Efetuar o processo até à atividade "Posicionar o motor" quando a <i>frame</i> ainda não está na estação PA40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração das atividades internas e externas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria do fluxo de AGVs entre as zonas PA e ED</li> <li>• Redução do risco de paragem do ED</li> </ul>
	<b>Transporte</b> Tempo de troca de AGV na estação PA40	 O AGV vazio começa a sair do seu ponto de uso na PA40 assim que o robô agarra no motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração das atividades internas e externas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de ciclo da PA40 em 3,57%</li> <li>• Melhoria do fluxo de AGVs entre as zonas PA e ED</li> </ul>
		 O AGV com o próximo motor começar a ir para o seu ponto de uso na PA40 assim que o AGV vazio começa a sair desse ponto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementação de <i>shuttle move</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de ciclo da PA40 em 24,63%</li> <li>• Melhoria do fluxo de AGVs entre as zonas PA e ED</li> </ul>
PA70 PA110 PA150 PA160	<b>Transporte</b> <i>Lead time</i> da <i>frame</i> em estações sem trabalho	 A <i>frame</i> não parar nas estações sem trabalho quando a próxima estação com trabalho está vazia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação de paragens durante o transporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de 15,29% do <i>lead time</i> entre a PA60 e a PA75</li> <li>• Redução de 15,15% do <i>lead time</i> entre a PA100 e a PA120</li> <li>• Redução de 19,33% do <i>lead time</i> entre a PA140 e a PA170</li> </ul>

Tabela 4.19 - Oportunidades de melhoria identificadas (continuação)

Estação	Desperdício	Oportunidade de melhoria proposta	Ferramenta de melhoria	Benefício
PA210	<b>Movimentação</b> Movimentos desnecessários dos operadores na estação de trabalho	<b>8</b> Reorganização do <i>layout</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reorganização do <i>layout</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redução do tempo de processo em 1,68%</li> <li>Redução de tempo normal máximo de processo em 16,16%</li> <li>Redução do risco de excedência do <i>takt time</i> quando há uma reparação</li> </ul>
	<b>Espera</b> Balanceamento dos operadores na estação de trabalho	<b>9</b> Adotar o procedimento das operações dos operadores PA210F e PA210B	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Standard work</i></li> <li>MTM</li> </ul>	
	<b>Espera</b> Desorganização do posto de trabalho PA210	<b>10</b> Organizar e compartimentar peças nas gavetas	<ul style="list-style-type: none"> <li>5S</li> </ul>	
ED145 PA210	<b>Defeitos</b> Falta de controlo dos defeitos	<b>11</b> Os operadores das estações de inspeção registarem as reparações efetuadas, que não são registadas no sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registo das reparações efetuadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controlo da totalidade dos defeitos que ocorrem na Zona C</li> </ul>
Buffer ED	<b>Transporte</b> <i>Lead time</i> do AGV entre o <i>Engine Dress</i> e a PA40	<b>12</b> Os AGVs seguirem diretamente para a posição do <i>buffer</i> mais próxima do ponto de uso sem pararem nas posições anteriores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eliminação de paragens durante o transporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melhoria do fluxo de AGVs</li> <li>Redução de 20,01% do <i>lead time</i> entre ED145 e PA40</li> <li>Redução de 19,13% do <i>lead time</i> entre ED145 e PA40</li> </ul>
Buffer PA	<b>Espera</b> Espera por espaço livre no <i>buffer</i> PA	<b>13</b> As <i>frames</i> seguirem para a próxima posição do <i>buffer</i> assim que a atual <i>frame</i> a ocupar essa posição começa a sair desse local	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementação de <i>shuttle move</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melhoria do fluxo de <i>frames</i> no <i>buffer</i> PA</li> <li>Eliminação do tempo de espera do elevador PA225</li> <li>Diminuição do risco de excedência do <i>takt time</i></li> </ul>
		<b>14</b> As <i>frames</i> posicionarem-se no <i>buffer</i> o mais à frente possível	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mudança do ponto de desacoplamento do <i>buffer</i></li> </ul>	
		<b>15</b> Libertar a estação DK5 CC2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Libertação de estações de trabalho</li> </ul>	

### 4.3 Seleção de Oportunidades de Melhoria (3ª Fase)

Seguidamente à identificação de oportunidades de melhoria, foi efetuada uma análise de prioridades das mesmas para definir quais as propostas a implementar. A análise foi iniciada com uma matriz de prioridades. Na Figura 4.26 é apresentada a matriz de prioridades desenvolvida.

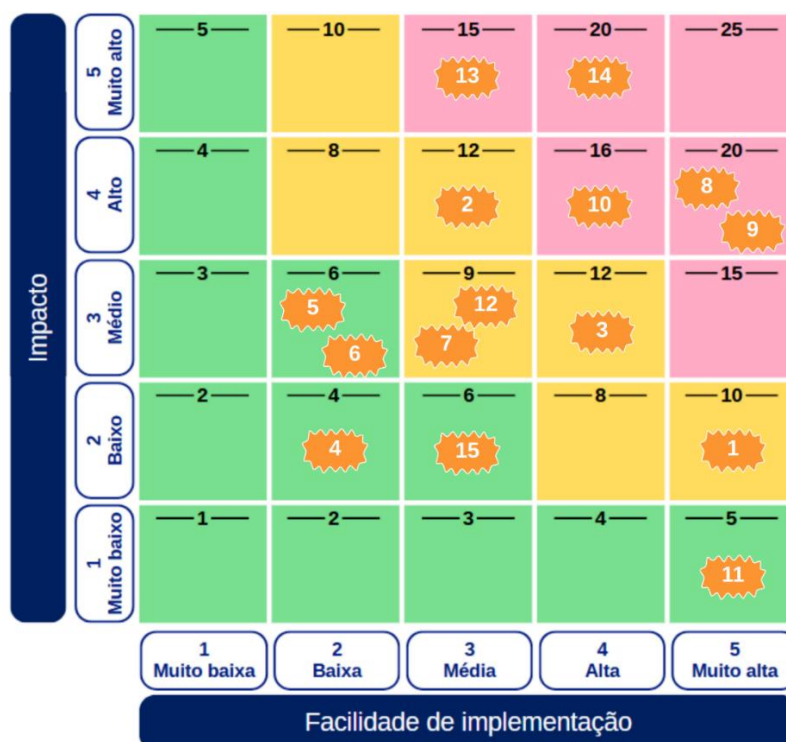


Figura 4.26 - Matriz de prioridades das oportunidades de melhoria identificadas

Segundo a matriz de prioridades, as propostas a implementar o mais rapidamente possível são a 8 e 9, seguidas da 14, 10 e, finalmente, da 13. As propostas a agendar deverão ser as 2 e 3, 1 e então 7 e 12. Deverá ser delegada a implementação das restantes propostas.

Seguidamente, foi elaborado o mapa conceptual (Figura 4.27), para evidenciar as dependências entre as soluções propostas.

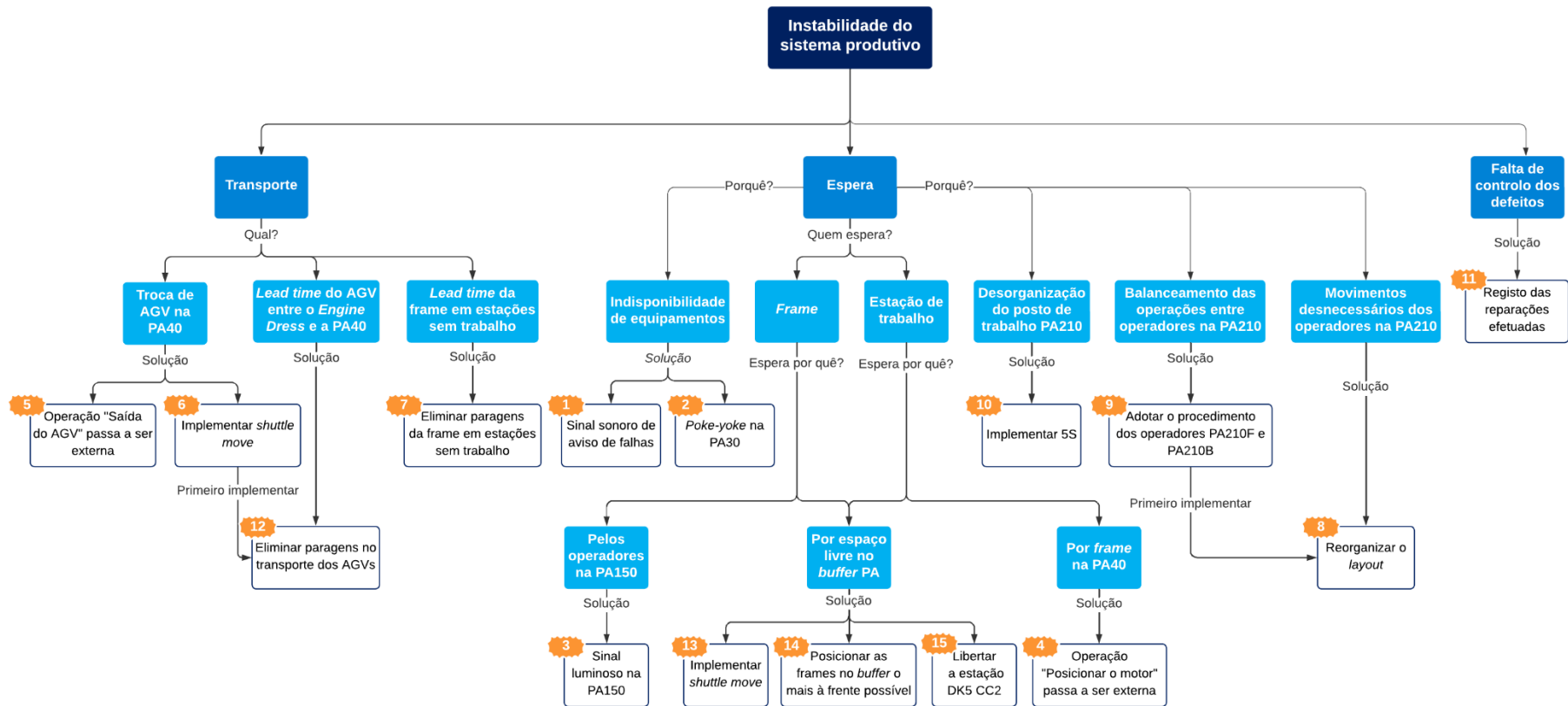


Figura 4.27 - Mapa conceitual dos problemas e oportunidades de melhoria

O mapa conceptual constata que para realizar a medida 9, terá de se realizar a medida 8 anteriormente. No entanto, as medidas 7 e 12 poderão ser implementadas independentemente umas das outras. Assim a ordem de implementação das medidas deverá ser a seguinte:

- Propostas de implementação prioritária: 8 - 9 - 14 - 10 - 13;
- Propostas de implementação tardia: 3 - 2 - 1 - 7 / 12;
- Propostas a rever: 15 - 5 / 6 - 11 - 4.

## 4.4 Estimativa dos Potenciais Impactos das Melhorias (4ª Fase)

Nesta subsecção, as cinco medidas seleccionadas como prioritárias, serão desenvolvidas e apresentadas para estimar o seu impacto no sistema produtivo, pela ordem previamente definida.

### 8. Reorganização do *layout*

Pretende-se, com a alteração do *layout*, diminuir o tempo associado à movimentação dos operadores na estação de trabalho PA210. Na Figura 4.28, encontra-se o *layout* atual da estação e a proposta apresentada.

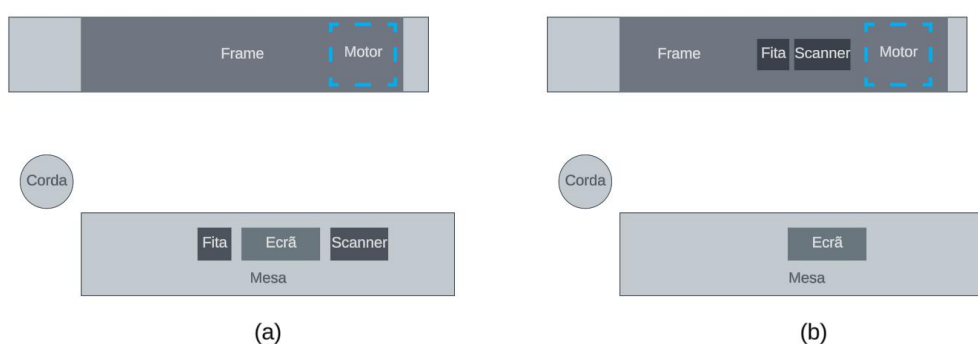


Figura 4.28 - PA210: *Layout* da estação

(a) atual, (b) proposta

O processo de inspeção inclui como tarefas a colocação de uma fita adesiva na alavanca de velocidades dos veículos automáticos e a leitura de 5 códigos nos veículos a gasóleo. O dispensador de fita e o *scanner* encontram-se ambos na mesa do lado direito da estação, o que significa que, para o operador alcançar tanto a fita como o *scanner* e dirigir-se então à mesa central com a *frame*, precisa de se deslocar entre ambos, o que representa um desperdício no processo. O *layout* atual da estação inclui uma prateleira acima da *frame*, pelo que se

propõe que esta seja utilizada para colocar o dispensador de fita e o *scanner*, eliminando o tempo gasto a caminhar entre a *frame* e a mesa do lado direito da estação.

### 9. Adotar o procedimento das operações dos operadores PA210F e PA210B

Ajustado o *layout*, deverá padronizar-se o processo. Ao atribuir as tarefas a cada um dos operadores, o ênfase foi na redução do tempo de processo das variantes mais complexas, pelo que se terá chegado à conclusão de que a distribuição de tarefas dos turnos A e B era a mais adequada. A alteração do *layout* terá então efeito apenas no operador alocado à parte dianteira do chassis. Os diagramas de esparguete relativos ao operador da parte dianteira do chassis consoante o *layout* atual e o *layout* proposto encontram-se na Figura 4.29.

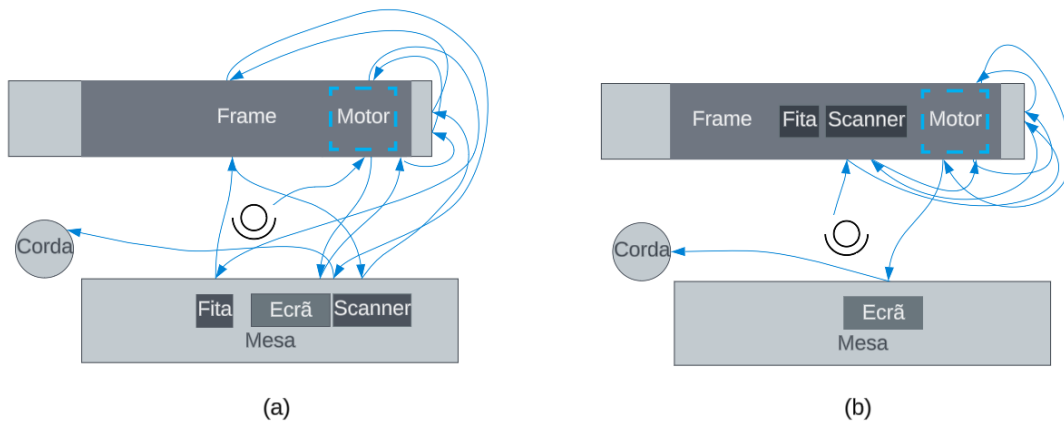


Figura 4.29 - PA210F: Diagrama de esparguete

(a) atual, (b) proposta

Os tempos normais de processo, obtidos com o MTM-1, para este mesmo operador segundo a proposta encontram-se na Tabela 4.20. As folhas de análise MTM utilizadas para obter os resultados apresentados estão presentes no Anexo A, nas Tabelas A.15 a A.18.

Tabela 4.20 - PA210F: Tempo normal de processo por operador e variante (proposta)

PA210F	Gasóleo e automático	Gasóleo e manual	Gasolina e automático	Gasolina e manual
Sem reparação	42,34 seg	40,81 seg	31,54 seg	28,92 seg
Com reparação	58,13 seg	56,59 seg	47,32 seg	44,70 seg

Após o cálculo dos tempos normais de processo para o novo *layout*, foram elaboradas as folhas de trabalho *standard*. Na Figura 4.30 está presente a folha de trabalho *standard* do operador PA210F para a variante "Gasóleo + Automático".

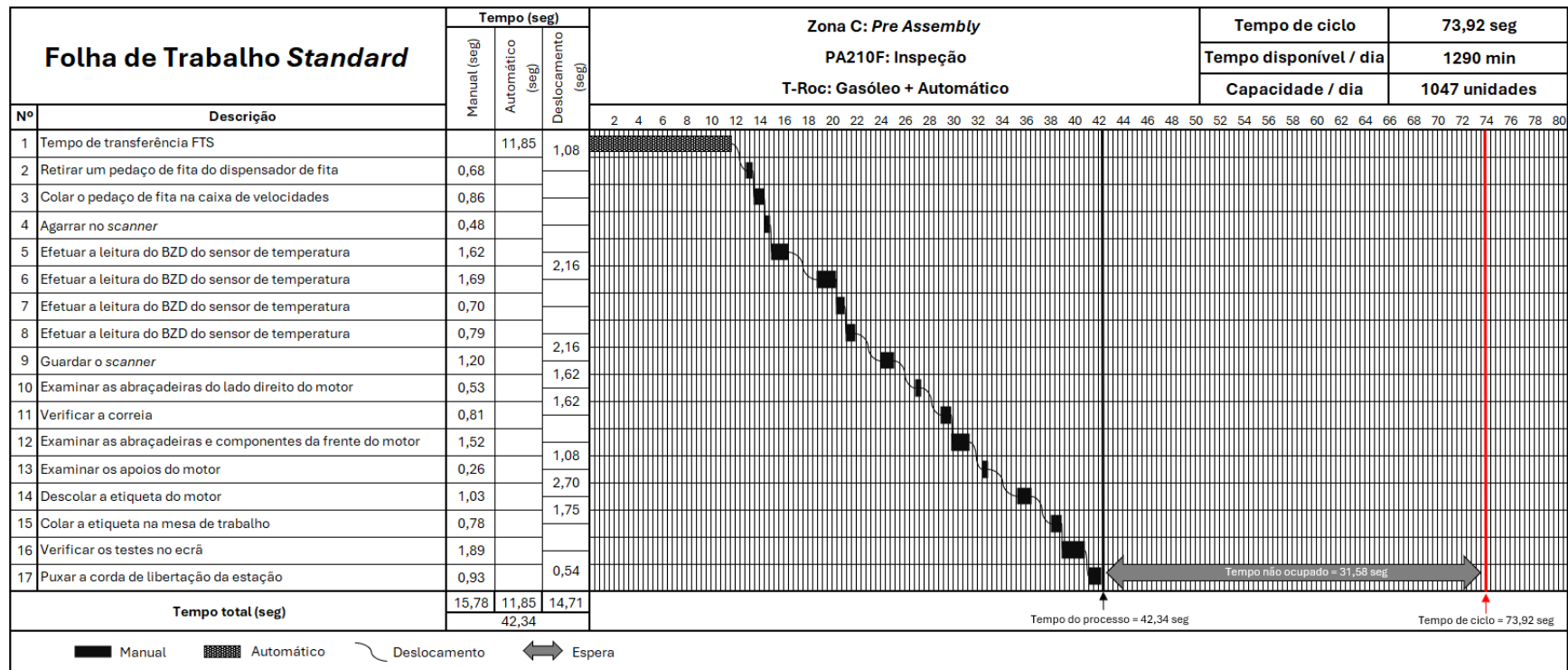


Figura 4.30 - PA210F: Folha de trabalho *standard* proposta ("Gasóleo + Automático")

As restantes estão presentes no Anexo B (Figuras B.10, B.11 e B.12). Com as informações obtidas desta ferramenta, foi elaborado o gráfico da Figura 4.31, que expõe o tempo médio dos processos manuais e automáticos e o tempo médio de deslocamento para a nova proposta em comparação com os tempos dos turnos A e B. A comparação será efetuada com os turnos A e B, uma vez que se considerou a mesma divisão de trabalho entre ambos e por esta ser a metodologia de trabalho mais otimizada quando comparada com os turnos C e D. De referir que estes tempos apenas incluem o processo de inspeção.

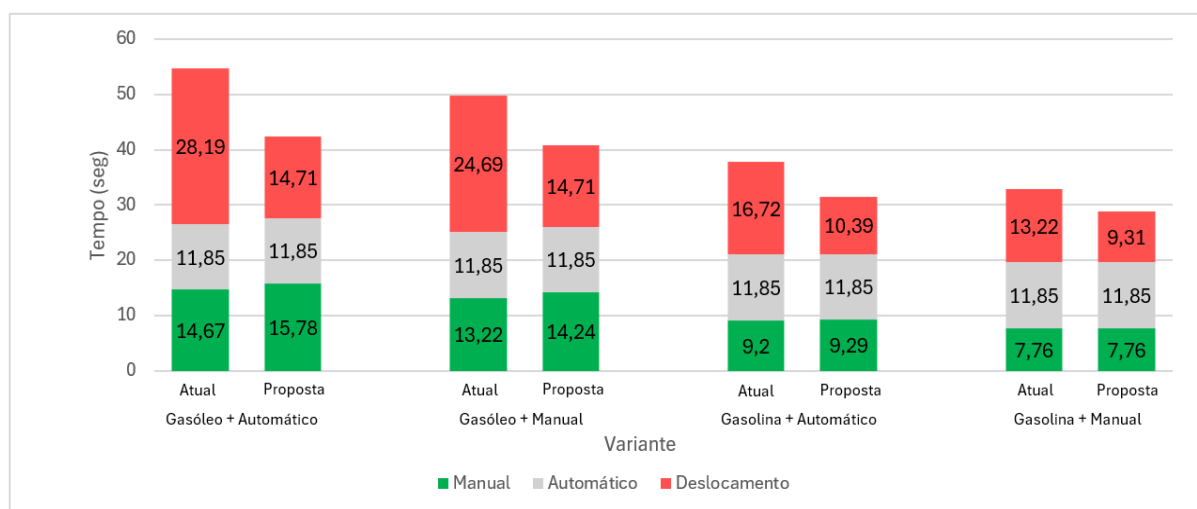


Figura 4.31 - PA210F: Tempo normal de processo por variante (atual e proposta)

Verifica-se pela figura que, nas 4 variantes, há uma redução no tempo de processo, obtida através da diminuição do tempo de deslocamento na estação. Os incrementos nos tempos das operações manuais devem-se à mudança de posição do *scanner* e do dispensador de fita.

O tempo normal de processo do operador PA210B é e mantém-se 45,87 segundos para todas as variantes, contabilizando apenas a inspeção. Com o atual funcionamento da estação nos turnos A e B, verifica-se que esse tempo é excedido pelo operador PA210F apenas nas variantes "Gasóleo + Automático" e "Gasóleo + Manual". Ao observar a Figura 4.31, verifica-se que, ao alterar o *layout* e padronizar as operações na estação consoante consta nas folhas de trabalho *standard* presentes no Anexo B, os tempos normais de processo nessas duas variantes passam a ser inferiores ao tempo normal de processo do operador PA210B (45,87 segundos). Assim, o tempo de processo na estação PA210, sem considerar reparação, para cada variante passa a ser o presente na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 - PA210: Tempo normal de processo por variante (atual e proposto)

Tempo de processo	Gasóleo + Automático	Gasóleo + Manual	Gasolina + Automático	Gasolina + Manual
Atual	54,71 seg	49,76 seg	45,87 seg	45,87 seg
Proposto	45,87 seg	45,87 seg	45,87 seg	45,87 seg

Apesar das reduções de tempo nas variantes em que o veículo é a gasolina no operador PA210F, estas não impactarão o tempo de processo da estação, uma vez que o tempo de processo do operador PA210B já era superior. As alterações verificam-se apenas nos veículos a gasóleo, obtendo-se uma redução no tempo de processo da estação PA210 de 16,16% (8,84 segundos) para a variante "Gasóleo + Automático" e de 7,82% (3,89 segundos) para a variante "Gasóleo + Manual". No entanto, as reduções dos tempos de processo em todas as variantes revelam-se úteis, uma vez que deixam espaço para a ocorrência de uma reparação.

Ao aplicar o *mix* da Tabela 4.11 aos resultados obtidos na Tabela 4.21, define-se o tempo normal de processo para o operador PA210F como 34,37 segundos, verificando-se uma redução de 14,59% do tempo de processo do operador PA210F. Com esta alteração, o operador PA210B passa a ter a maior carga de trabalho de entre os dois operadores, verificando-se uma redução de 1,68% do tempo de processo da estação.

#### 14. As *frames* posicionarem-se no *buffer* o mais à frente possível

Para que o *buffer* consiga responder à produção entregue pela Zona PA, é também necessária fazer uma alteração em relação às posições ocupadas por *frames* em circulação no *buffer*. Sugere-se que, contrariamente ao método atual, em que a *frame* espera o mais atrás possível para tentar percorrer os caminhos mais curtos, se crie uma fila contínua para a Zona DK. Um exemplo do proposto é apresentado na Figura 4.32.

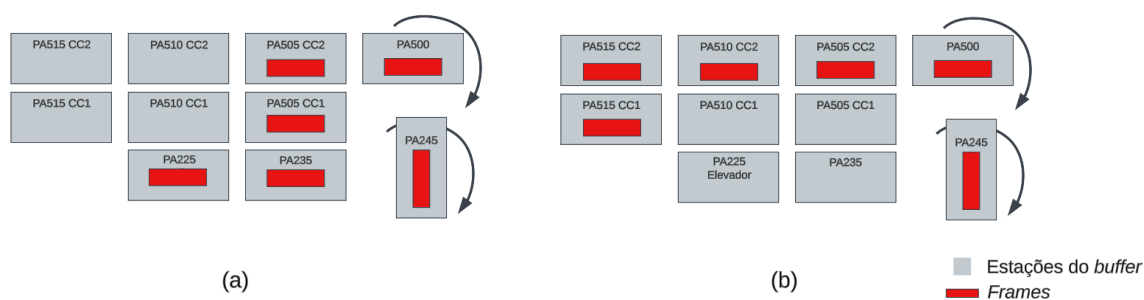


Figura 4.32 - Sugestão do posicionamento das *frames* no *buffer*

(a) atual, (b) proposto

Com a criação de uma fila contínua até à Zona DK, certifica-se que a estação PA235 se encontra disponível para receber a *frame* do elevador. Assim, espera-se a eliminação do tempo de espera do elevador PA225 para colocar a *frame* na PA235 e, conseqüentemente, a redução do tempo de espera nas estações de trabalho da Zona PA.

## 10. Organizar e compartimentar peças nas gavetas

Verificou-se uma perda de tempo na estação PA210 nas reparações efetuadas, uma vez que os operadores perderam tempo ao procurar as peças necessárias para efetuar a reparação. Isto ocorreu por falta de organização nos compartimentos onde são guardadas as peças, uma vez que algumas peças se encontravam misturadas umas com as outras. Foi então verificada a organização das gavetas em questão, representada na Figura 4.33.



Figura 4.33 - Gavetas de peças do posto de trabalho PA210

As secções rodeadas a vermelho foram identificadas como compartimentos desorganizados, uma vez que armazenam mais do que um tipo de peça ou contêm componentes não necessários ao posto de trabalho. Registado este desperdício, sugere-se a implementação da ferramenta 5S no posto de trabalho PA210.

Primeiramente, deverão ser retirados do local os componentes não necessários ao trabalho na estação. Assim, começar-se-á por retirar os pacotes de açúcar presentes na gaveta 3. Seguidamente, serão estabelecidos locais para os componentes desorganizados e misturados. Na gaveta 5 verifica-se a presença de ferramentas que poderiam ser colocadas na mesa de

ferramentas, juntamente com as restantes, e a presença de um par de luvas que deveria estar guardado no armário indicado para tal. Nas gavetas, deverão ser criados compartimentos para armazenar as peças atualmente misturadas. Cada compartimento deverá ser adequado ao tamanho do componente que irá armazenar e deverá ter uma dimensão que não dificulte o operador a retirar a peça do compartimento.

### **13. As *frames* seguirem para a próxima posição do *buffer* assim que a atual *frame* a ocupar essa posição começa a sair desse local**

A configuração atual do *buffer* PA apenas permite que uma *frame* comece a entrar numa posição no *buffer* quando essa posição está totalmente desocupada da *frame* que a ocupava anteriormente. Isto significa que apenas é permitida a movimentação de *frames* uma a uma.

Para melhorar o fluxo de *frames* neste *buffer*, sugere-se a implementação de *shuttle move*, ou seja, que quando uma *frame* comece a sair de uma posição, comece logo a próxima a entrar para essa mesma posição. Assim, ambos os transportes ocorrem ao mesmo tempo, diminuindo o tempo de espera para iniciar o transporte associado.

No entanto, devido à constituição do *buffer*, não será possível adotar esta gestão em todos os transportes, uma vez que apenas é possível efetuar este método entre posições que percorram o mesmo sentido. Nesse caso, a melhoria poderá ser efetuada nas seguintes porções de caminhos:

- Caminho vermelho:
  - Da PA225 até à PA245;
- Caminho laranja:
  - Da PA235 até à PA505 CC2;
- Caminho amarelo:
  - Da PA510 CC2 até à PA500;
  - Da PA500 até à DK5 CC1;
- Caminho verde:
  - Da PA505 CC1 até à PA515 CC1;
  - Da PA505 CC2 até à PA500;
  - Da PA500 até à DK CC1.

Esta medida irá facilitar o fluxo de *frames* no *buffer* de maneira a conseguir suportar a produção da Zona PA.

No Anexo D foram desenvolvidas as restantes soluções não prioritárias que servirão de suporte à sua implementação.

## CONCLUSÕES DO ESTUDO, LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Para finalizar, o quinto Capítulo expõe as conclusões retiradas do Estudo de Caso elaborado e as suas contribuições para a empresa e comunidade científica. Segue-se a apresentação das limitações do Estudo de Caso, encerrando o Capítulo com a apresentação dos eventuais trabalhos futuros.

### 5.1 Principais Conclusões

Para desenvolver a metodologia de melhoria contínua apresentada, foi elaborada uma revisão bibliográfica relativa às metodologias de melhoria contínua (*Lean*, *Six Sigma* e Teoria das Restrições) e aos modelos híbridos (*Lean Six Sigma*, *TOC Six Sigma*, *TOC Lean* e *TOC Lean Six Sigma*). Esta pesquisa permitiu a elaboração de uma análise comparativa dos diferentes modelos híbridos. A acrescentar, foi explorado o sistema de tempos pré-determinados, bem como a sua integração no âmbito da melhoria contínua. Verificou-se uma escassez de publicações que relacionassem as abordagens de melhorias contínua, mais especificamente o SS e a TOC, com o sistema de tempos pré-determinados. No caso do *Lean*, foram encontradas publicações da sua integração com o MTM, embora fossem escassas. Para além da ausência do posicionamento do MTM com as metodologias SS e TOC de forma isolada, também não foram encontrados estudos em que seja exposto o sistema de tempos pré-determinados a par com sistemas híbridos de melhoria contínua, quer parciais ou totais. Assim, encontra-se uma lacuna na literatura em relação à integração da melhoria contínua e do MTM.

Com base na revisão bibliográfica efetuada, a elaboração da presente dissertação propõe a aplicação de uma metodologia integradora das metodologias MTM e *Lean*. A metodologia

proposta constitui 4 fases, seguindo o ciclo PDCA. A metodologia *Lean* foi proposta para identificar e reduzir desperdícios. O MTM foi proposto para identificar desperdícios, atingir a padronização dos processos e reduzir desperdícios, ferramenta esta que não foi sugerida em nenhum dos modelos de melhoria contínua expostos no estado da arte. A proposta de utilização de um mapa conceptual como auxílio à tomada de decisão na priorização das melhorias identificadas apresentou-se como uma contribuição para a seleção de oportunidades de melhoria nos modelos de melhoria contínua, não sendo utilizada em nenhum destes.

Na fase de diagnóstico do sistema, identificou-se que:

- O OEE da Zona PA tem um valor de 74,12%, sendo inferior ao objetivo da fábrica;
- A métrica com a maior responsabilidade pela descida do OEE é a Qualidade;
- A Zona PA causa espera na linha que fornece em 15,35% do tempo de produção;
- O *buffer* PA apresenta uma ocupação que causa espera na Zona PA em 70,81% do tempo de produção;
- O *takt time* não está a ser cumprido, embora os tempos de processo estivessem abaixo desse valor. Foi assim identificado um elevado tempo de espera do produto nesta linha;
- As estações de inspeção e reparação não têm um padrão de trabalho.

Numa segunda fase, foram identificadas e caracterizadas as oportunidades de melhoria. Para iniciar, foi elaborado um VSM do sistema produtivo. Foram identificados os desperdícios, sendo então sugeridas oportunidades para reduzir os desperdícios detetados. Os desperdícios identificados relacionavam-se com a indisponibilidade dos equipamentos, esperas por falta de material ou por ausência de recursos para iniciarem o trabalho, desorganização e balanceamento dos operadores nas estações de trabalho, pelos *lead times* entre estações de trabalho e pela gestão do *buffer* PA. Recorrendo a ferramentas *Lean* e ao MTM, foram sugeridas 15 propostas de melhoria para os desperdícios identificados.

Na terceira fase, ao propor a matriz de prioridades e o mapa conceptual, foram definidas as 5 soluções a implementar com mais urgência, pela seguinte ordem de prioridade:

- Reorganização do *layout* do posto de trabalho PA210;
- Balancear os operadores da estação de trabalho PA210, ao atribuir tarefas que dividam os operadores entre a parte dianteira e a parte traseira da *frame*;
- As *frames* posicionarem-se no *buffer* PA o mais à frente possível, deixando espaço livre nas suas posições iniciais;
- Implementar 5S na estação PA210;

- Implementar *shuttle move* no *buffer* PA, ou seja, as *frames* seguirem para a próxima posição do *buffer* assim que a atual *frame* a ocupar essa posição começa a sair desse local.

Na última fase da metodologia, as medidas selecionadas foram desenvolvidas e foi estimado o potencial impacto de cada medida no sistema produtivo. Espera-se que as medidas no *buffer* PA tenham impacto no tempo de espera verificado em toda a Zona PA, permitindo que o tempo de ciclo nas estações de trabalho da Zona PA venha a ser inferior ao *takt time*. As medidas a implementar na estação de trabalho PA210 dão resposta ao elevado número de defeitos, que reduz o OEE da linha, ao garantir que as reparações a efetuar sejam o mais eficientes e rápidas possível, de maneira a que o *takt time* não seja ultrapassado. Estima-se que o tempo máximo de processo na estação PA210 seja reduzido em 16,16%.

A utilização da ferramenta MTM no Estudo de Caso exibe uma contribuição para a comunidade científica, na medida em que a integração desta ferramenta em modelos de melhoria contínua é um exemplo raro. Na literatura, o sistema de tempos pré-determinados está presente na abordagem *Lean*, embora não haja muitos estudos nesse âmbito. Já a integração desta ferramenta com qualquer uma das restantes metodologias de melhoria contínua não é explorada pela comunidade científica, assim como não é aplicada em nenhum dos modelos híbridos analisados. Sugere-se então que esta ferramenta seja adicionada ao conjunto de ferramentas para identificação e redução de desperdícios propostos por Carvalho (2019), do seu modelo híbrido TLS.

O mapa conceptual e a matriz de prioridades demonstraram a sua utilidade na priorização das soluções identificadas. O mapa conceptual não é uma ferramenta presente nos modelos de melhoria contínua, embora benéfico, uma vez que evidencia as relações entre desperdícios e soluções.

Conclui-se que a aplicação de uma metodologia integrante do MTM e do *Lean*, baseada no ciclo PDCA, a um sistema produtivo na indústria automóvel, tem a capacidade de gerar resultados positivos, aumentando a eficiência do mesmo.

## 5.2 Limitações

Uma limitação do estudo, reflete-se nas cronometragens efetuadas, em que não foi possível cumprir a dimensão da amostra aceitável, o que pode levar a erros na análise dos resultados obtidos.

A utilização do MTM da determinação dos tempos normais de processo, demonstrou uma limitação no que diz respeito a suboperações não manuais, sendo necessário recorrer à cronometragem dessas suboperações, o que torna esta determinação de tempos não tão robusta.

No Estudo de Caso desenvolvido, não foi possível implementar as medidas propostas, o que impossibilita a quantificação exata do impacto das soluções de melhoria propostas. Assim, foi apenas possível realizar uma previsão dos resultados esperados, ficando por validar os efeitos das medidas selecionadas no sistema produtivo e o controle e monitorização dos mesmos resultados.

### 5.3 Trabalhos Futuros

A primeira sugestão para trabalhos futuros é a implementação das soluções selecionadas no sistema produtivo, já que estas não foram implementadas no decorrer do estudo. Após implementação, deverá ser efetuado o respetivo controlo e monitorização, completando o ciclo de melhoria contínua.

Após a aplicação da metodologia de melhoria contínua combinando o MTM e o *Lean*, seria relevante prosseguir com o ciclo de melhoria contínua ao aplicar um modelo TLS no sistema, integrando ainda a ferramenta MTM. Verificado o impacto positivo da aplicação da melhoria contínua, é aconselhado dar continuidade à melhoria do sistema acrescentando as metodologias da TOC e do Seis Sigma, já que, como exposto na revisão de literatura, os resultados da integração das três abordagens são muito superiores quer à aplicação das abordagens em separado, quer às integrações parciais existentes.

Para finalizar, apesar de terem sido tomadas medidas aquando da ocorrência de defeitos, estas medidas não se focam na origem dos defeitos, mas sim na sua reparação. Visto que a Qualidade é o fator que tem a maior influência na descida do OEE, será importante trabalhar na redução da ocorrência dos defeitos reparados na estação PA210, sendo que a sua maioria tem origem na estação de trabalho PA130.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, A. (2021). *Lean Seis Sigma na Unidade Curricular Dissertação em Engenharia e Gestão Industrial*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/130281>
- Almeida, D., & Ferreira, J. (2009). *Analysis of the Methods Time Measurement (MTM) Methodology through its Application in Manufacturing Companies*. In 19th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM) Middlesbrough. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2826.1927>
- Anastasiu, L., Câmpian, C., & Roman, N. (2023). Boosting Construction Project Timeline: The Case of Critical Chain Project Management (CCPM). *Buildings*, 13(5), 1249. <https://doi.org/10.3390/buildings13051249>
- Antunes, J. (1998). *Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: Uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e a teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero*. 407f. Tese para obtenção de grau de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Arunagiri, P., & Gnanavelbabu, A. (2014). Identification of Major Lean Production Waste in Automobile Industries using Weighted Average Method. *Procedia Engineering*, 97, 2167–2175. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.460>
- Arunrao Shahade, A., & Jha, U. (2021). Development of Lean & Six Sigma Integration Model through Axiomatic Design Theory. *2021 International Conference on Mechanical, Aerospace and Automotive Engineering*, 324–328. <https://doi.org/10.1145/3518781.3519605>

- Associação MTM Portugal (2010). MTM - Ferramenta para a Melhoria Contínua. Consultado a 1 de julho de 2024. Disponível em <https://pt.slideshare.net/slideshow/mtm-uma-ferramenta-para-a-melhoria-contnua-2897461/2897461>
- Carvalho, P. (2019). *Aplicação de um sistema híbrido TLS a uma linha de montagem multimodelo*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/97938>
- Chen, M., & Lyu, J. (2009). A Lean Six-Sigma approach to touch panel quality improvement. *Production Planning & Control*, 20(5), 445–454. <https://doi.org/10.1080/09537280902946343>
- Chiou, C., Jhang, T., Deng, Y., Tsai, J., & Perng, C. (2014). Applying lean and TOC to improvement delivery performance for machine tool manufacturers. *2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 953–957. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2014.7058779>
- Dettmer, H. (2001). *Beyond Lean manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for higher performance*. Port Angeles, US. 2001.
- Dias, A., Navas, H., & Abreu, A. (2020). Design of a Continuous Improvement Model in a Portuguese Food Industry Company – A Case Study. *KnE Engineering*. <https://doi.org/10.18502/keg.v5i6.7034>
- Dias, R. (2022). *Teoria das Restrições: Uma metodologia de Melhoria Contínua como base para o desenvolvimento, desdobramento e implementação da Estratégia*. Tese para obtenção de Grau de Doutoramento em Engenharia Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/145994>
- Džubáková, M., & Kopták, M. (2017). Work Standardisation in Logistics Processes. *Quality Innovation Prosperity*, 21(2), 109. <https://doi.org/10.12776/qip.v21i2.880>
- Efimova, A., Briš, P., & Efimov, A. (2021). A Bibliometric Analysis of the Evolution of Six Sigma in the Context of Industry 4.0. *Engineering Economics*, 32(4), 338–349. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.32.4.28536>
- Ehie, I., & Sheu, C. (2005). Integrating six sigma and theory of constraints for continuous improvement: A case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(5), 542–553. <https://doi.org/10.1108/17410380510600518>

- European Automobile Manufacturers' Association (2024). Economic and Market Report Global and EU auto industry: Full year 2023. Consultado a 16 de julho de 2024. Disponível em [https://www.acea.auto/files/Economic\\_and\\_Market\\_Report-Full\\_year\\_2023.pdf](https://www.acea.auto/files/Economic_and_Market_Report-Full_year_2023.pdf)
- Fathiya, N., Kurniawan, W., & Mayusda, I. (2024). Improving the Packaging Quality of Surgical Suture Products at PT. XYZ with the Application of the Six Sigma Method and Failure Mode Effect Analysis (FMEA). *E3S Web of Conferences*, 500, 03022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450003022>
- Fortes, C. (2023). Modelo Integrado Para A Melhoría Da Resiliência No Cumprimento De Prazos De Entrega Em Sistemas Produtivos De Engenharia-Por-Encomenda. Tese para obtenção de Grau de Doutorado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/163748>
- Furtado, I. (2017). *Sugestão de Operacionalização de um Modelo TLS na Indústria Corticeira*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/21795>
- Goldratt, E., & Cox, J. (2004). *The goal: A process of ongoing improvement* (3rd rev. ed., 20th anniversary ed). North River Press.
- Goldratt, E., & Fox, R. (1986). *The race*. North River Press.
- Guild, D. (2012). *Theory of Constraints and Lean. Synchronous Management*. (Unpublish paper) Synchronous Management, p1-4, 2012.
- Gupta, M., Digalwar, A., Gupta, A., & Goyal, A. (2024). Integrating Theory of Constraints, Lean and Six Sigma: A framework development and its application. *Production Planning & Control*, 35(3), 238–261. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2071351>
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994–1011. <https://doi.org/10.1108/01443570410558049>
- Ikeziri, L., De Souza, F., Da Silva Meyer, A., & Gupta, M. (2023). Pulling the distribution in supply chains: Simulation and analysis of Dynamic Buffer Management approach. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1), 1981480. <https://doi.org/10.1080/23302674.2021.1981480>
- Inozu, B. (2012). *The top 12 reasons to integrate Constraints Management (TOC) into Lean Six Sigma as a force multiplier*. TOCICO Conference.

- Jin, K., Razzak, H., Elkassabgi, Y., Zhou, H., & Herrera, A. (2009). *Integrating the Theory of Constraints and Six Sigma in Manufacturing Process Improvement*. *World Academy Science, Engineering and Technology*. World Academy Science, Engineering and Technology, n.49, p.550-554.
- Kempa, W., & Paprocka, I. (2024). A Discrete-Time Queueing Model of a Bottleneck with an Energy-Saving Mechanism Based on Setup and Shutdown Times. *Symmetry*, 16(1), 63. <https://doi.org/10.3390/sym16010063>
- Kuhlang, P., Edtmayr, T., & Sihn, W. (2011). Methodical approach to increase productivity and reduce lead time in assembly and production-logistic processes. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4(1), 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2011.02.001>
- Kunrath, T., Machado, M., & Lacerda, D. (2022). GOAL-OKR: A Framework for Strategic Focus Using Objectives & Key Results and Theory of Constraints. In V. López Sánchez, F. Mendonça Freires, J. Gonçalves Dos Reis, & J. Costa Martins Das Dores (Eds.), *Industrial Engineering and Operations Management* (Vol. 400, pp. 359–371). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14763-0\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14763-0_28)
- Leal, A. (2015). *Implementação da metodologia Seis Sigma no Centro de Medições*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/19965>
- Lopes, E., Souza, A., Pierre, J., Rêgo Júnior, R., & Ponte, F. (2022). Application of methods-time measurement as a tool to improve productivity in a beauty salon. *ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA)*, 8(35). <https://doi.org/10.5935/jetia.v8i35.817>
- Lopez-Osorio, A., Vila-Moretti, N., Flores-Perez, A., Quiroz-Flores, J., & Collao-Diaz, M. (2022). Production Model Integrating TOC and Lean for Lead Time Reduction in Chemical Manufacturing: An Empirical Research in Peru. *2022 The 9th International Conference on Industrial Engineering and Applications (Europe)*, 44–49. <https://doi.org/10.1145/3523132.3523140>
- Lucas, D. (2014). *Simulação de uma linha de produção com elevada variabilidade: Uma abordagem Teoria das Restrições/DBR*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/14889>

- Lv, C. (2021). Automobile Comprehensive Performance Detection and Maintenance Technology Based on Theory of Constraints. *2021 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture*, 1989–1993. <https://doi.org/10.1145/3495018.3501035>
- Mabin, V., & Cavana, R. (2024). A framework for using Theory of Constraints thinking processes and tools to complement qualitative system dynamics modelling. *System Dynamics Review*, sdr.1768. <https://doi.org/10.1002/sdr.1768>
- Maware, C., & Adetunji, O. (2019). Lean manufacturing implementation in Zimbabwean industries: Impact on operational performance. *International Journal of Engineering Business Management*, 11, 184797901985979. <https://doi.org/10.1177/1847979019859790>
- Miškolci, S., & Rajchlová, J. (2024). Evaluation of the quality of management processes as a determinant of NGOs ' effectiveness. *Nonprofit Management and Leadership*, nml.21615. <https://doi.org/10.1002/nml.21615>
- Morlock, F., Kreggenfeld, N., Louw, L., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2017). Teaching Methods-Time Measurement (MTM) for Workplace Design in Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, 9, 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.033>
- Moura, E. (2010). *The Need to Integrate TOC, Lean, Six Sigma and Management by Processes*.
- Nave, D. (2002). How to compare Six Sigma, Lean and Theory of Constraints. A framework for choosing what's best for your organization. *Quality Progress Magazine*, p.72-78.
- Noamna, S., Thongphun, T., & Kongjit, C. (2022). Transformer Production Improvement By Lean And Mtm-2 Technique. *Asean Engineering Journal*, 12(2), 29–35. <https://doi.org/10.11113/aej.v12.16712>
- Ohno, T. (2001). *Toyota Production System*. Taylor & Francis Group. Broken Sound Parkway NW.
- Okimura, L. (2013). *Uma Exploração dos Modelos de Uso Integrado da Teoria das Restrições, Produção Enxuta e Seis Sigma*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Estadual Paulista. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/items/e186f56d-2b8d-4c88-ba65-d06d00a153d7>
- Olenici, C., Miclaus, C., Potra, S., & Moisa, C. (2023). A Case Study on the Six Sigma Application to Reduce Acoustic Noise Generated by Multi-layer Ceramic Capacitors. *2023 46th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISSE57496.2023.10168386>

- Oliveira, F. (2011). *Metodologia MTM (Methods- Time Measurement) Como Uma Estratégia Competitiva Para Um Balanceamento De Linha De Produção Mais Enxuto*. XXXI Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Belo Horizonte, Brasil Disponível em [https://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011\\_TN\\_STO\\_135\\_861\\_18076.pdf](https://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_135_861_18076.pdf)
- Oumesaoud, H., Faouzi, R., Naji, K., Benzakour, I., Faqir, H., Oukhrib, R., & Aboulhassan, M. (2024). Enhancing Flotation of Oxidized Copper Ores through the Integration of Artificial Neural Network and the Design of Experiments Approach for Process Optimization.
- Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking*. Free Press. Avenue of the Americas New York.
- Womack, J., T. Jones, D., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. Macmillan Publishing Company. Third Avenue, New York.
- Pacheco, D. (2014). Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: Limites e possibilidades de integração. *Production*, 24(4), 940–956. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000002>
- Paz, P. (2015). *Proposta de Simulação de Sistema Híbrido TOC-Lean*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/18300>
- Pepper, M., & Spedding, T. (2010). The evolution of lean Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(2), 138–155. <https://doi.org/10.1108/02656711011014276>
- Pirasteh, R., & Fox, R. (2010). *Profitability With no Boundaries: Focus, reduce waste, contain variability, optimize TOC, Lean, Six Sigma Results*. United States of America: ASQ Quality Press.
- Pretorius, P. (2014). Introducing in-between decision points to TOC's five focusing steps. *International Journal of Production Research*, 52(2), 496–506. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.836612>
- Quintaneiro, S. (2014). *Uma perspetiva Lean Seis Sigma na Melhoria Contínua de um Sistema Logístico de Produção*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/14242>
- Rajab, S., Afy-Shararah, M., & Salonitis, K. (2022). Using Industry 4.0 Capabilities for Identifying and Eliminating Lean Wastes. *Procedia CIRP*, 107, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.004>

- Ramos, M. (2010). *Sincronização da Cadeia de Valor através da Integração da Teoria das Restrições e Produção Lean*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/10021>
- Rangel-Sánchez, M., Urbina-González, J., Carrera-Escobedo, J., Guirette-Barbosa, O., Murillo-Rodríguez, V., Celaya-Padilla, J., Durán-Muñoz, H., & Cruz-Domínguez, O. (2024). Enhancing Scrap Reduction in Electric Motor Manufacturing for the Automotive Industry: A Case Study Using the PDCA (Plan–Do–Check–Act) Approach. *Applied Sciences*, *14*(7), 2999. <https://doi.org/10.3390/app14072999>
- Rays Filho, I., Souza, F., & Ikeziri, L. (2023). Analysis of a support method for offering delivery promises in environments managed by S-DBR system. *Production*, *33*, e20230023. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20230023>
- Reid, R. (2007). Applying the TOC five-step focusing process in the service sector: A banking subsystem. *Managing Service Quality: An International Journal*, *17*(2), 209–234. <https://doi.org/10.1108/09604520710735209>
- Rocha, A. (2017). *Normalização de tempos de processos logísticos na Volkswagen Autoeuropa pela aplicação da metodologia MTM (Methods-Time Measurement)*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/99430>
- Sacadura, L., & Tenera, A. (2011). Integrating Value and Lean Management in Manufacturing Processes. *2011 International Conference on Management and Service Science*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICMSS.2011.5999337>
- Salah, S., Rahim, A., & Carreteiro, J. (2010). *The integration of Six Sigma and lean management*. *International Journal of Lean Six Sigma*. *International Journal of Lean Six Sigma*, v.1, n.3, p. 249-274.
- Santos, E., Lima, T., & Gaspar, P. (2023). Optimization of the Production Management of an Upholstery Manufacturing Process Using Lean Tools: A Case Study. *Applied Sciences*, *13*(17), 9974. <https://doi.org/10.3390/app13179974>
- Santos, S., & Dores, V. (2018). *A Indústria Automóvel na Economia Portuguesa*. Ministério da Economia, Gabinete de Estratégia e Estudos. Disponível em <https://www.gee.gov.pt/pt/documentos/destaques/7245-a-industria-automovel-na-economia-portuguesa/file>

- Silva, L. (2015). *Ensaio exploratório de um modelo TLS num Sistema Produtivo Lean: Caso Equipar*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. Disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/16769>
- Sims, T., & Wan, H. (2017). Constraint identification techniques for lean manufacturing systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 43, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.12.005>
- Singh, K., Swarnakar, V., & Singh, A. (2021a). Lean Six Sigma project selection using Best Worst Method. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5766–5770. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.094>
- Singh, M., Rathi, R., & Garza-Reyes, J. (2021b). Analysis and prioritization of Lean Six Sigma enablers with environmental facets using best worst method: A case of Indian MSMEs. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123592. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123592>
- Snee, R. (2010). *Lean Six Sigma—Getting better all the time*, *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 1 n. 1, p. 9 – 29
- Sodhi, H. (2023). A comparative analysis of lean manufacturing, Six Sigma and Lean Six Sigma for their application in manufacturing organisations. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 13(1), 127. <https://doi.org/10.1504/IJPMB.2023.127902>
- Sousa, E., Andretti, F., & Castro, M. (2023). Overview of stages of change of lean six sigma programs in organizations from 2005 to 2021. *Gestão & Produção*, 30, e6522. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2023v30e6522>
- Sproull, B. (2019). *Theory of Constraints, Lean, and Six Sigma Improvement Methodology: Making the Case for Integration* (1st ed.). Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780429284007>
- Sproull, B. (2023). *Learning from the Past, Present, and Future to Drive Profits to New Levels: Roadmaps for Solving and Preventing Problems, Making Better Decisions, and Implementing the Ultimate Improvement Cycle* (1st ed.). Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9781003462385>
- Sunk, A., Kuhlmann, P., Edtmayr, T., & Sihn, W. (2017). Developments of traditional value stream mapping to enhance personal and organisational system and methods competencies. *International Journal of Production Research*, 55(13), 3732–3746. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1272764>

- Tenera, A., & Abreu, A. (2008). A TOC Perspective to Improve the Management of Collaborative Networks. In L. M. Camarinha-Matos & W. Picard (Eds.), *Pervasive Collaborative Networks* (Vol. 283, pp. 167–176). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-84837-2\\_17](https://doi.org/10.1007/978-0-387-84837-2_17)
- Tenera, A., & Abreu, A. (2008). A critical chain perspective to support management activities in dynamic production networks. *2008 IEEE International Engineering Management Conference*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IEMCE.2008.4618019>
- Tenera, A., & Pinto, L. (2014). A Lean Six Sigma (LSS) Project Management Improvement Model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 912–920. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.102>
- Tenera, A., & Rosas, J. (2019). Collaborative Networks Management from a Theory of Constraints Perspective. In L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, & D. Antonelli (Eds.), *Collaborative Networks and Digital Transformation* (Vol. 568, pp. 271–282). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-28464-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-28464-0_24)
- Thomas, A., Barton, R., & Chuke-Okafor, C. (2008). Applying lean six sigma in a small engineering company – a model for change. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 113–129. <https://doi.org/10.1108/17410380910925433>
- Volkswagen Autoeuropa. (2024b). VWAE Comunicação Externa 2023. Consultado a 3 de março de 2024.
- Volkswagen Group (2023). Volkswagen Sustainability Report 2022. Consultado a 17 de fevereiro de 2024. Disponível em <https://www.volkswagen-group.com/en/reporting-15808#>
- Watson, J., & Patti, A. (2008). *A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime. International Journal of Production Research*.
- Watson, K. J., Blackstone, J. H., & Gardiner, S. C. (2007). The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. *Journal of Operations Management*, 25(2), 387–402. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.004>
- Widiwati, I., Liman, S., & Nurprihatin, F. (2024). The implementation of Lean Six Sigma approach to minimize waste at a food manufacturing industry. *Journal of Engineering Research*, S2307187724000221. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.01.022>
- Woepfel, M. (2009). *How to double your botton line with TLS*. White paper.

Wong, K., Pu, S., & Wong, C. (2024). A Robotics Experimental Design Method Based on PDCA: A Case Study of Wall-Following Robots. *Sensors*, 24(6), 1869. <https://doi.org/10.3390/s24061869>

## FOLHAS DE ANÁLISE MTM

### A.1 PA210: MTM dos processos (turnos A e B)

Tabela A.1 - PA210F: MTM do processo ("Gasóleo + Automático")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
	Deslocamento até ao motor					45
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
2	Descolar a etiqueta do motor					28,7
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à mesa de trabalho					48,6
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
3	Colar a etiqueta na mesa de trabalho					21,8
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até ao motor					63,6
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
4	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor					14,6
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256
	Deslocamento até à parte da frente do motor					45
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62

Tabela A.1 - PA210F: MTM do processo ("Gasóleo + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
5	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
6	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor				42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884
	Deslocamento para o lado esquerdo do motor				30	1,08
	Caminhar para o lado esquerdo do motor	WP	15	2	30	1,08
7	Examinar os apoios do motor				7,3	0,2628
	Examinar os apoios do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Deslocamento até à mesa de trabalho				120	4,32
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	8	120	4,32
8	Retirar um pedaço de fita do dispensador de fita				16,3	0,5868
	Alcançar o dispensador de fita	R26A	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar um pedaço de fita	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Retirar o pedaço de fita	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à <i>frame</i>				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08
9	Colar o pedaço de fita na alavanca de velocidades				23,9	0,8604
	Mover a fita	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Colar a fita na alavanca de velocidades	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
10	Agarrar no <i>scanner</i>				10,8	0,3888
	Alcançar o <i>scanner</i>	R26A	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no <i>scanner</i>	G1A	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à <i>frame</i>				93,6	3,3696
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	5	75	2,7
11	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				47,024	1,6929
	Alcançar o sensor de temperatura	R50C	19,6	1	19,6	0,7056
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M40B	17,824	1	17,824	0,6417
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.1 - PA210F: MTM do processo ("Gasóleo + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
12	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				19,58	0,7049
	Alcançar o sensor de temperatura	R10B	6,3	1	6,3	0,2268
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
13	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				22,08	0,7949
	Alcançar o sensor de temperatura	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao lado esquerdo da <i>frame</i>				75	2,7
	Caminhar até ao lado esquerdo da <i>frame</i>	WP	15	5	75	2,7
14	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				24,032	0,8652
	Alcançar o sensor de temperatura	R10B	6,3	1	6,3	0,2268
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M10B	8,132	1	8,132	0,2928
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à mesa de trabalho				150	5,4
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	10	150	5,4
15	Guardar o <i>scanner</i>				28,248	1,0169
	Mover o <i>scanner</i>	M26C	15,848	1	15,848	0,5705
	Posicionar o <i>scanner</i>	P1NSE	10,4	1	10,4	0,3744
	Largar o <i>scanner</i>	RL1	2	1	2	0,072
16	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
17	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.2 - PA210F: MTM do processo ("Gasóleo + Manual")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)	
1	Tempo de transferência FTS					11,8537	
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537	
	Deslocamento até ao motor				45	1,62	
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62	
2	Descolar a etiqueta do motor					28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632	
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126	
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144	
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496	
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696	
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08	
3	Colar a etiqueta na mesa de trabalho					21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032	
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816	
	Deslocamento até ao motor				63,6	2,2896	
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696	
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62	
4	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor					14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256	
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62	
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62	
5	Verificar a correia					22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808	
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072	
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816	
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072	
6	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor					42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915	
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628	
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736	
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884	
	Deslocamento para o lado esquerdo do motor				30	1,08	
	Caminhar para o lado esquerdo do motor	WP	15	2	30	1,08	
7	Examinar os apoios do motor					7,3	0,2628
	Examinar os apoios do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628	
	Deslocamento até à mesa de trabalho				120	4,32	
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	8	120	4,32	

Tabela A.2 - PA210F: MTM do processo ("Gasóleo + Manual") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
8	Agarrar no <i>scanner</i>				10,8	0,3888
	Alcançar o <i>scanner</i>	R26A	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no <i>scanner</i>	G1A	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à <i>frame</i>				93,6	3,3696
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	5	75	2,7
9	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				47,024	1,6929
	Alcançar o sensor de temperatura	R50C	19,6	1	19,6	0,7056
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M40B	17,824	1	17,824	0,6417
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
10	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				19,58	0,7049
	Alcançar o sensor de temperatura	R10B	6,3	1	6,3	0,2268
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
11	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				22,08	0,7949
	Alcançar o sensor de temperatura	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao lado esquerdo da <i>frame</i>				75	2,7
	Caminhar até ao lado esquerdo da <i>frame</i>	WP	15	5	75	2,7
12	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				24,032	0,8652
	Alcançar o sensor de temperatura	R10B	6,3	1	6,3	0,2268
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M10B	8,132	1	8,132	0,2928
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à mesa de trabalho				150	5,4
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	10	150	5,4
13	Guardar o <i>scanner</i>				28,248	1,0169
	Mover o <i>scanner</i>	M26C	15,848	1	15,848	0,5705
	Posicionar o <i>scanner</i>	P1NSE	10,4	1	10,4	0,3744
	Largar o <i>scanner</i>	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.2 - PA210F: MTM do processo ("Gasóleo + Manual") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
14	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
15	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.3 - PA210F: MTM do processo ("Gasolina + Automático")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
	Deslocamento até ao motor				45	1,62
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
2	Descolar a etiqueta do motor				28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
3	Colar a etiqueta na mesa de trabalho				21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até ao motor				63,6	2,2896
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
4	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor				14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62

Tabela A.3 - PA210F: MTM do processo ("Gasolina + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
5	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
6	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor				42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884
	Deslocamento para o lado esquerdo do motor				30	1,08
	Caminhar para o lado esquerdo do motor	WP	15	2	30	1,08
7	Examinar os apoios do motor				7,3	0,2628
	Examinar os apoios do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Deslocamento até à mesa de trabalho				120	4,32
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	8	120	4,32
8	Retirar um pedaço de fita do dispensador de fita				16,3	0,5868
	Alcançar o dispensador de fita	R26A	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar um pedaço de fita	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Retirar o pedaço de fita	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à <i>frame</i>				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08
9	Colar o pedaço de fita na alavanca de velocidades				23,9	0,8604
	Mover a fita	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Colar a fita na alavanca de velocidades	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
10	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
11	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.4 - PA210F: MTM do processo ("Gasolina + Manual")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)	
1	Tempo de transferência FTS					11,8537	
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537	
	Deslocamento até ao motor				45	1,62	
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62	
2	Descolar a etiqueta do motor					28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632	
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126	
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144	
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496	
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696	
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08	
3	Colar a etiqueta na mesa de trabalho					21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032	
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816	
	Deslocamento até ao motor				63,6	2,2896	
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696	
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62	
4	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor					14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256	
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62	
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62	
5	Verificar a correia					22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808	
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072	
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816	
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072	
6	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor					42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915	
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628	
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736	
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884	
	Deslocamento para o lado esquerdo do motor				30	1,08	
	Caminhar para o lado esquerdo do motor	WP	15	2	30	1,08	
7	Examinar os apoios do motor					7,3	0,2628
	Examinar os apoios do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628	
	Deslocamento até à mesa de trabalho				120	4,32	
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	8	120	4,32	

Tabela A.4 - PA210F: MTM do processo ("Gasolina + Manual") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
8	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
9	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.5 - PA210B: MTM do processo

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
2	Preparar a caneta				35,9	1,2924
	Pegar na caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Alcançar a tampa da caneta	R2A	2	1	2	0,072
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a tampa para a parte de trás da caneta	M14A	7.7	1	7.7	0,2772
	Encaixar a tampa na parte de trás da caneta	P2S	16.2	1	16.2	0,5832
	Largar a tampa da caneta	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à <i>frame</i>				45	1,62
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	3	45	1,62
3	Verificar o eixo do lado direito ao riscar com a caneta				25	0,9
	Riscar a ponta do eixo do lado direito (mover a caneta)	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o eixo do lado direito (mover a caneta)	M35B	14,5	1	14,5	0,522

Tabela A.5 - PA210B: MTM do processo (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
4	Verificar o lado direito do escudo térmico ao riscar com a caneta				110	3,96
	Riscar a ponta da frente inferior do lado direito do escudo	M50B	18	2	36	1,296
	Riscar a ponta da frente superior do lado direito do escudo	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte inferior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte superior	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar a parte traseira do lado direito do escudo	M20B	10,5	1	10,5	0,378
5	Verificar o lado direito do depósito de combustível ao riscar com a caneta				12,3	0,4428
	Riscar o lado direito do depósito de combustível	M26B	12,3	1	12,3	0,4428
6	Verificar os tubos de travão e a peça de suporte do lado direito ao riscar com a caneta				63,3	2,2788
	Riscar o tubo de travão	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar parte superior da peça de suporte	M16B	9,2	1	9,2	0,3312
	Riscar parte inferior da peça de suporte	M10B	6,8	1	6,8	0,2448
	Riscar parte superior da peça de suporte	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o tubo de travão	M6B	5	1	5	0,18
	Riscar a borracha do tubo de travão	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar a borracha no tubo de travão	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
7	Verificar o amortecedor e a mola do lado direito ao riscar com a caneta					2,016
	Riscar a borracha da mola	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar a mola	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar o amortecedor na parte inferior	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar o amortecedor na parte superior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o amortecedor na parte superior	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Deslocamento até ao lado direito da placa contra aquecimento				15	0,54
	Caminhar até ao lado direito da placa contra aquecimento	WP	15	1	15	0,54
8	Verificar o lado direito da placa contra aquecimento ao riscar com a caneta				28,9	1,0404
	Riscar o pino adjacente à placa contra aquecimento	M40B	15,6	1	15,6	0,5616
	Riscar o lado direito da placa contra aquecimento	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Deslocamento até ao lado esquerdo da placa contra aquecimento				90	3,24
	Caminhar até ao lado esquerdo da placa contra aquecimento	WP	15	6	90	3,24

Tabela A.5 - PA210B: MTM do processo (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
9	Verificar o lado esquerdo da placa contra aquecimento ao riscar com a caneta				28,9	1,0404
	Riscar pino adjacente à placa contra aquecimento	M40B	15,6	1	15,6	0,5616
	Riscar lado esquerdo da placa contra aquecimento	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Deslocamento até ao amortecedor e mola do lado esquerdo				15	0,54
	Caminhar até ao amortecedor e mola do lado esquerdo	WP	15	1	15	0,54
10	Verificar o amortecedor e a mola do lado esquerdo ao riscar com a caneta				33	1,188
	Riscar a borracha da mola	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar a mola	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar o amortecedor	M35B	14,5	1	14,5	0,522
11	Verificar os tubos de travão e a peça de suporte do lado direito ao riscar com a caneta				63,3	2,2788
	Riscar o tubo de travão	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar parte superior da peça de suporte	M16B	9,2	1	9,2	0,3312
	Riscar parte inferior da peça de suporte	M10B	6,8	1	6,8	0,2448
	Riscar parte superior da peça de suporte	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o tubo de travão	M6B	5	1	5	0,18
	Riscar a borracha do tubo de travão	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar a borracha no tubo de travão	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
12	Verificar o lado esquerdo do depósito de combustível ao riscar com a caneta				12,3	0,4428
	Riscar lado esquerdo depósito de combustível	M26B	12,3	1	12,3	0,4428
13	Verificar o lado esquerdo do escudo térmico ao riscar com a caneta				110	3,96
	Riscar a parte traseira do lado esquerdo do escudo	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar o meio do lado esquerdo do escudo na parte inferior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o meio do lado esquerdo do escudo na parte superior	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar a ponta da frente inferior do lado esquerdo do escudo	M50B	18	2	36	1,296
	Riscar a ponta da frente superior do lado esquerdo do escudo	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
14	Verificar o eixo do lado esquerdo ao riscar com a caneta				25	0,9
	Riscar a ponta do eixo do lado esquerdo (mover a caneta)	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o eixo do lado esquerdo (mover a caneta)	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				150	5,4
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	10	150	5,4

Tabela A.5 - PA210B: MTM do processo (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
15	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

## A.2 PA210: MTM dos processos (turnos C e D)

Tabela A.6 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Automático")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
	Deslocamento até ao motor				45	1,62
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
2	Descolar a etiqueta do motor					28,7
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
3	Colar a etiqueta na mesa de trabalho					21,8
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até ao motor				63,6	2,2896
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
4	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor					14,6
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62
5	Verificar a correia					22,4
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.6 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
6	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor				42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	8	60	2,16
7	Retirar um pedaço de fita do dispensador de fita				16,3	0,5868
	Alcançar o dispensador de fita	R26A	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar um pedaço de fita	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Retirar o pedaço de fita	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à <i>frame</i>				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08
8	Colar o pedaço de fita na alavanca de velocidades				23,9	0,8604
	Mover a fita	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Colar a fita na alavanca de velocidades	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
9	Agarrar no <i>scanner</i>				10,8	0,3888
	Alcançar o <i>scanner</i>	R26A	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no <i>scanner</i>	G1A	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à <i>frame</i>				93,6	3,3696
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	5	75	2,7
10	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				47,024	1,6929
	Alcançar o sensor de temperatura	R50C	19,6	1	19,6	0,7056
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M40B	17,824	1	17,824	0,6417
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
11	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				19,58	0,7049
	Alcançar o sensor de temperatura	R10B	6,3	1	6,3	0,2268
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.6 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
12	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				22,08	0,7949
	Alcançar o sensor de temperatura	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao lado esquerdo da <i>frame</i>				60	2,16
	Caminhar até ao lado esquerdo da <i>frame</i>	WP	15	4	60	2,16
13	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				33,592	1,2093
	Alcançar o sensor de temperatura	R28B	12,2	1	12,2	0,4392
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M18B	11,792	1	11,792	0,4245
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
14	Guardar o <i>scanner</i>				28,248	1,0169
	Mover o <i>scanner</i>	M26C	15,848	1	15,848	0,5705
	Posicionar o <i>scanner</i>	P1NSE	10,4	1	10,4	0,3744
	Largar o <i>scanner</i>	RL1	2	1	2	0,072
15	Preparar a caneta				35,9	1,2924
	Pegar na caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Alcançar a tampa da caneta	R2A	2	1	2	0,072
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a tampa para a parte de trás da caneta	M14A	7.7	1	7.7	0,2772
	Encaixar a tampa na parte de trás da caneta	P2S	16.2	1	16.2	0,5832
	Largar a tampa da caneta	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à <i>frame</i>				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08
16	Verificar o eixo do lado direito ao riscar com a caneta				25	0,9
	Riscar a ponta do eixo do lado direito (mover a caneta)	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o eixo do lado direito (mover a caneta)	M35B	14,5	1	14,5	0,522

Tabela A.6 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
17	Verificar o lado direito do escudo térmico ao riscar com a caneta				110	3,96
	Riscar a ponta da frente inferior do lado direito do escudo	M50B	18	2	36	1,296
	Riscar a ponta da frente superior do lado direito do escudo	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte inferior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte superior	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar a parte traseira do lado direito do escudo	M20B	10,5	1	10,5	0,378
18	Verificar o lado direito do depósito de combustível ao riscar com a caneta				12,3	0,4428
	Riscar o lado direito do depósito de combustível	M26B	12,3	1	12,3	0,4428
19	Verificar os tubos de travão e a peça de suporte do lado direito ao riscar com a caneta				63,3	2,2788
	Riscar o tubo de travão	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar parte superior da peça de suporte	M16B	9,2	1	9,2	0,3312
	Riscar parte inferior da peça de suporte	M10B	6,8	1	6,8	0,2448
	Riscar parte superior da peça de suporte	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o tubo de travão	M6B	5	1	5	0,18
	Riscar a borracha do tubo de travão	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar a borracha no tubo de travão	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
20	Verificar o amortecedor e a mola do lado direito ao riscar com a caneta				56	2,016
	Riscar a borracha da mola	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar a mola	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar o amortecedor na parte inferior	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar o amortecedor na parte superior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o amortecedor na parte superior	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Deslocamento até ao lado direito da placa contra aquecimento				15	0,54
	Caminhar até ao lado direito da placa contra aquecimento	WP	15	1	15	0,54
21	Verificar o lado direito da placa contra aquecimento ao riscar com a caneta				28,9	1,0404
	Riscar o pino adjacente à placa contra aquecimento	M40B	15,6	1	15,6	0,5616
	Riscar o lado direito da placa contra aquecimento	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	4	60	2,16

Tabela A.6 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
22	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
23	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.7 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Manual")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
	Deslocamento até ao motor				45	1,62
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
2	Descolar a etiqueta do motor				28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
3	Colar a etiqueta na mesa de trabalho				21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até ao motor				63,6	2,2896
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
4	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor				14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62

Tabela A.7 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Manual") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
5	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
6	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor				42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	8	60	2,16
7	Agarrar no <i>scanner</i>				10,8	0,3888
	Alcançar o <i>scanner</i>	R26A	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no <i>scanner</i>	G1A	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à <i>frame</i>				93,6	3,3696
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	5	75	2,7
8	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				47,024	1,6929
	Alcançar o sensor de temperatura	R50C	19,6	1	19,6	0,7056
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M40B	17,824	1	17,824	0,6417
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
9	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				19,58	0,7049
	Alcançar o sensor de temperatura	R10B	6,3	1	6,3	0,2268
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
10	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				22,08	0,7949
	Alcançar o sensor de temperatura	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao lado esquerdo da <i>frame</i>				60	2,16
	Caminhar até ao lado esquerdo da <i>frame</i>	WP	15	4	60	2,16

Tabela A.7 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Manual") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
11	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				33,592	1,2093
	Alcançar o sensor de temperatura	R28B	12,2	1	12,2	0,4392
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M18B	11,792	1	11,792	0,4245
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
12	Guardar o <i>scanner</i>				28,248	1,0169
	Mover o <i>scanner</i>	M26C	15,848	1	15,848	0,5705
	Posicionar o <i>scanner</i>	P1NSE	10,4	1	10,4	0,3744
	Largar o <i>scanner</i>	RL1	2	1	2	0,072
13	Preparar a caneta				35,9	1,2924
	Pegar na caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Alcançar a tampa da caneta	R2A	2	1	2	0,072
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a tampa para a parte de trás da caneta	M14A	7.7	1	7.7	0,2772
	Encaixar a tampa na parte de trás da caneta	P2S	16.2	1	16.2	0,5832
	Largar a tampa da caneta	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à <i>frame</i>				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08
14	Verificar o eixo do lado direito ao riscar com a caneta				25	0,9
	Riscar a ponta do eixo do lado direito (mover a caneta)	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o eixo do lado direito (mover a caneta)	M35B	14,5	1	14,5	0,522
15	Verificar o lado direito do escudo térmico ao riscar com a caneta				110	3,96
	Riscar a ponta da frente inferior do lado direito do escudo	M50B	18	2	36	1,296
	Riscar a ponta da frente superior do lado direito do escudo	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte inferior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte superior	M20B	10.5	1	10.5	0,378
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar a parte traseira do lado direito do escudo	M20B	10,5	1	10,5	0,378
16	Verificar o lado direito do depósito de combustível ao riscar com a caneta				12,3	0,4428
	Riscar o lado direito do depósito de combustível	M26B	12,3	1	12,3	0,4428

Tabela A.7 - PA210R: MTM do processo ("Gasóleo + Manual") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
17	Verificar os tubos de travão e a peça de suporte do lado direito ao riscar com a caneta				63,3	2,2788
	Riscar o tubo de travão	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar parte superior da peça de suporte	M16B	9,2	1	9,2	0,3312
	Riscar parte inferior da peça de suporte	M10B	6,8	1	6,8	0,2448
	Riscar parte superior da peça de suporte	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o tubo de travão	M6B	5	1	5	0,18
	Riscar a borracha do tubo de travão	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar a borracha no tubo de travão	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
18	Verificar o amortecedor e a mola do lado direito ao riscar com a caneta				56	2,016
	Riscar a borracha da mola	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar a mola	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar o amortecedor na parte inferior	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar o amortecedor na parte superior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o amortecedor na parte superior	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Deslocamento até ao lado direito da placa contra aquecimento				15	0,54
	Caminhar até ao lado direito da placa contra aquecimento	WP	15	1	15	0,54
19	Verificar o lado direito da placa contra aquecimento ao riscar com a caneta				28,9	1,0404
	Riscar o pino adjacente à placa contra aquecimento	M40B	15,6	1	15,6	0,5616
	Riscar o lado direito da placa contra aquecimento	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	4	60	2,16
20	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
21	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.8 - PA210R: MTM do processo ("Gasolina + Automático")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)	
1	Tempo de transferência FTS					11,8537	
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537	
	Deslocamento até ao motor				45	1,62	
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62	
2	Descolar a etiqueta do motor					28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632	
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126	
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144	
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496	
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696	
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08	
3	Colar a etiqueta na mesa de trabalho					21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032	
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816	
	Deslocamento até ao motor				63,6	2,2896	
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696	
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62	
4	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor					14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256	
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62	
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62	
5	Verificar a correia					22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808	
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072	
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816	
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072	
6	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor					42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915	
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628	
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736	
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884	
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16	
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	8	60	2,16	
7	Retirar um pedaço de fita do dispensador de fita					16,3	0,5868
	Alcançar o dispensador de fita	R26A	8,8	1	8,8	0,3168	
	Pegar um pedaço de fita	G1B	3,5	1	3,5	0,126	
	Retirar o pedaço de fita	D1E	4	1	4	0,144	
	Deslocamento até à <i>frame</i>				48,6	1,7496	
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696	
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08	

Tabela A.8 - PA210R: MTM do processo ("Gasolina + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
8	Colar o pedaço de fita na alavanca de velocidades				23,9	0,8604
	Mover a fita	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Colar a fita na alavanca de velocidades	APA	10,6	1	10,6	0,3816
9	Preparar a caneta				35,9	1,2924
	Pegar na caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Alcançar a tampa da caneta	R2A	2	1	2	0,072
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a tampa para a parte de trás da caneta	M14A	7.7	1	7.7	0,2772
	Encaixar a tampa na parte de trás da caneta	P2S	16.2	1	16.2	0,5832
	Largar a tampa da caneta	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à <i>frame</i>				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08
10	Verificar o eixo do lado direito ao riscar com a caneta				25	0,9
	Riscar a ponta do eixo do lado direito (mover a caneta)	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o eixo do lado direito (mover a caneta)	M35B	14,5	1	14,5	0,522
11	Verificar o lado direito do escudo térmico ao riscar com a caneta				110	3,96
	Riscar a ponta da frente inferior do lado direito do escudo	M50B	18	2	36	1,296
	Riscar a ponta da frente superior do lado direito do escudo	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte inferior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte superior	M20B	10.5	1	10.5	0,378
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar a parte traseira do lado direito do escudo	M20B	10,5	1	10,5	0,378
12	Verificar o lado direito do depósito de combustível ao riscar com a caneta				12,3	0,4428
	Riscar o lado direito do depósito de combustível	M26B	12,3	1	12,3	0,4428
13	Verificar os tubos de travão e a peça de suporte do lado direito ao riscar com a caneta				63,3	2,2788
	Riscar o tubo de travão	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar parte superior da peça de suporte	M16B	9,2	1	9,2	0,3312
	Riscar parte inferior da peça de suporte	M10B	6,8	1	6,8	0,2448
	Riscar parte superior da peça de suporte	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o tubo de travão	M6B	5	1	5	0,18
	Riscar a borracha do tubo de travão	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar a borracha no tubo de travão	M30B	13,3	1	13,3	0,4788

Tabela A.8 - PA210R: MTM do processo ("Gasolina + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
14	Verificar o amortecedor e a mola do lado direito ao riscar com a caneta				56	2,016
	Riscar a borracha da mola	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar a mola	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar o amortecedor na parte inferior	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar o amortecedor na parte superior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o amortecedor na parte superior	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Deslocamento até ao lado direito da placa contra aquecimento				15	0,54
	Caminhar até ao lado direito da placa contra aquecimento	WP	15	1	15	0,54
15	Verificar o lado direito da placa contra aquecimento ao riscar com a caneta				28,9	1,0404
	Riscar o pino adjacente à placa contra aquecimento	M40B	15,6	1	15,6	0,5616
	Riscar o lado direito da placa contra aquecimento	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	4	60	2,16
16	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
17	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.9 - PA210R: MTM do processo ("Gasolina + Automático")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
	Deslocamento até ao motor				45	1,62
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
2	Descolar a etiqueta do motor				28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144

Tabela A.9 - PA210R: MTM do processo ("Gasolina + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
3	Colar a etiqueta na mesa de trabalho				21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até ao motor				63,6	2,2896
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
4	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor				14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62
5	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
6	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor				42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884
7	Preparar a caneta				35,9	1,2924
	Pegar na caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Alcançar a tampa da caneta	R2A	2	1	2	0,072
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a tampa para a parte de trás da caneta	M14A	7,7	1	7,7	0,2772
	Encaixar a tampa na parte de trás da caneta	P2S	16,2	1	16,2	0,5832
	Largar a tampa da caneta	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à <i>frame</i>				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08
8	Verificar o eixo do lado direito ao riscar com a caneta				25	0,9
	Riscar a ponta do eixo do lado direito (mover a caneta)	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o eixo do lado direito (mover a caneta)	M35B	14,5	1	14,5	0,522

Tabela A.9 - PA210R: MTM do processo ("Gasolina + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
9	Verificar o lado direito do escudo térmico ao riscar com a caneta				110	3,96
	Riscar a ponta da frente inferior do lado direito do escudo	M50B	18	2	36	1,296
	Riscar a ponta da frente superior do lado direito do escudo	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte inferior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o meio do lado direito do escudo na parte superior	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar a parte traseira do lado direito do escudo	M20B	10,5	1	10,5	0,378
10	Verificar o lado direito do depósito de combustível ao riscar com a caneta				12,3	0,4428
	Riscar o lado direito do depósito de combustível	M26B	12,3	1	12,3	0,4428
11	Verificar os tubos de travão e a peça de suporte do lado direito ao riscar com a caneta				63,3	2,2788
	Riscar o tubo de travão	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar parte superior da peça de suporte	M16B	9,2	1	9,2	0,3312
	Riscar parte inferior da peça de suporte	M10B	6,8	1	6,8	0,2448
	Riscar parte superior da peça de suporte	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o tubo de travão	M6B	5	1	5	0,18
	Riscar a borracha do tubo de travão	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar a borracha no tubo de travão	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
12	Verificar o amortecedor e a mola do lado direito ao riscar com a caneta				56	2,016
	Riscar a borracha da mola	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar a mola	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar o amortecedor na parte inferior	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar o amortecedor na parte superior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o amortecedor na parte superior	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Deslocamento até ao lado direito da placa contra aquecimento				15	0,54
	Caminhar até ao lado direito da placa contra aquecimento	WP	15	1	15	0,54
13	Verificar o lado direito da placa contra aquecimento ao riscar com a caneta				28,9	1,0404
	Riscar o pino adjacente à placa contra aquecimento	M40B	15,6	1	15,6	0,5616
	Riscar o lado direito da placa contra aquecimento	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	4	60	2,16

Tabela A.9 - PA210R: MTM do processo ("Gasolina + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
14	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
15	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.10 - PA210L: MTM do processo

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
	Deslocamento até à <i>frame</i>				45	1,62
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	3	45	1,62
2	Examinar os apoios do motor				7,3	0,2628
	Examinar os apoios do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
3	Preparar a caneta				35,9	1,2924
	Pegar na caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Alcançar a tampa da caneta	R2A	2	1	2	0,072
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a tampa para a parte de trás da caneta	M14A	7.7	1	7.7	0,2772
	Encaixar a tampa na parte de trás da caneta	P2S	16.2	1	16.2	0,5832
	Largar a tampa da caneta	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao eixo esquerdo				30	1,08
	Caminhar até ao eixo esquerdo	WP	15	2	30	1,08
4	Verificar o eixo do lado esquerdo ao riscar com a caneta				25	0,9
	Riscar a ponta do eixo do lado esquerdo (mover a caneta)	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o eixo do lado esquerdo (mover a caneta)	M35B	14,5	1	14,5	0,522

Tabela A.10 - PA210L: MTM do processo (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
5	Verificar o lado esquerdo do escudo térmico ao riscar com a caneta				110	3,96
	Riscar a ponta da frente inferior do lado esquerdo do escudo	M50B	18	2	36	1,296
	Riscar a ponta da frente superior do lado esquerdo do escudo	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar o meio do lado esquerdo do escudo na parte inferior	M24B	11,8	1	11,8	0,4248
	Riscar o meio do lado esquerdo do escudo na parte superior	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Dar um passo	WP	15	1	15	0,54
	Riscar a parte traseira do lado esquerdo do escudo	M20B	10,5	1	10,5	0,378
6	Verificar o lado esquerdo do depósito de combustível ao riscar com a caneta				12,3	0,4428
	Riscar o lado esquerdo do depósito de combustível	M26B	12,3	1	12,3	0,4428
7	Verificar os tubos de travão e a peça de suporte do lado esquerdo ao riscar com a caneta				63,3	2,2788
	Riscar o tubo de travão	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar parte superior da peça de suporte	M16B	9,2	1	9,2	0,3312
	Riscar parte inferior da peça de suporte	M10B	6,8	1	6,8	0,2448
	Riscar parte superior da peça de suporte	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Riscar o tubo de travão	M6B	5	1	5	0,18
	Riscar a borracha do tubo de travão	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar a borracha no tubo de travão	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
8	Verificar o amortecedor e a mola do lado esquerdo ao riscar com a caneta				33	1,188
	Riscar a borracha da mola	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Riscar a mola	M4B	4	1	4	0,144
	Riscar o amortecedor	M35B	14,5	1	14,5	0,522
	Deslocamento até ao lado esquerdo da placa contra aquecimento				15	0,54
	Caminhar até ao lado esquerdo da placa contra aquecimento	WP	15	1	15	0,54
9	Verificar o lado esquerdo da placa contra aquecimento ao riscar com a caneta				28,9	1,0404
	Riscar o pino adjacente à placa contra aquecimento	M40B	15,6	1	15,6	0,5616
	Riscar o lado esquerdo da placa contra aquecimento	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				78,6	2,8296
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	4	60	2,16

Tabela A.10 - PA210L: MTM do processo (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
10	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

### A.3 PA210: MTM do processo de reparação

Tabela A.11 - PA210: MTM do processo de reparação do cubo da roda

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
	Deslocamento até ao eixo				45	1,62
	Caminhar até ao eixo	WP	15	3	45	1,62
1	Agarrar na ferramenta				26	0,936
	Alcançar a ferramenta	R50B	18,4	1	18,4	0,6624
	Pegar na ferramenta	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar a ferramenta	G2	5,6	1	5,6	0,2016
2	Posicionar a ferramenta no cubo da roda				52,726	1,8981
	Mover a ferramenta	M50C	26,126	1	26,126	0,9405
	Posicionar a ferramenta	P2NSD	26,6	1	26,6	0,9576
3	Aperto do cubo da roda					9,1453
	Aperto do cubo da roda	-	-	-	-	9,1453
4	Largar a ferramenta				12,076	0,4347
	Mover a ferramenta	M10B	10,076	1	10,076	0,3627
	Largar a ferramenta	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	2	30	1,08

## A.4 ED145: MTM dos processos

Tabela A.12 - ED145: MTM do processo ("Gasóleo ou 4x4")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)	
1	Tempo de transferência FTS					10,3587	
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	10,3587	
	Deslocamento até ao motor				30	1,08	
	Caminhar até ao motor	WP	15	2	30	1,08	
2	Agarrar na saqueta de plástico					0,5832	
	Alcançar a saqueta de plástico	R35B	14,2	1	14,2	0,5112	
	Pegar na saqueta de plástico	G1A	2	1	2	0,072	
	Deslocamento até ao lado direito do motor				30	1,08	
	Caminhar até ao lado direito do motor	WP	15	2	30	1,08	
3	Agarrar na etiqueta e colocá-la na saqueta de plástico					28,6	1,0296
	Alcançar a etiqueta	R30B	12,8	1	12,8	0,4608	
	Pegar na etiqueta	G1A	2	1	2	0,072	
	Descolar a etiqueta	D1E	4	1	4	0,144	
	Mover a etiqueta até à saqueta	M10B	7,8	1	7,8	0,2808	
	Largar a etiqueta	RL1	2	1	2	0,072	
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16	
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	4	60	2,16	
4	Colocar a saqueta de plástico na mesa de trabalho					13,5	0,486
	Mover a saqueta de plástico até à mesa	M20B	11,5	1	11,5	0,414	
	Largar a saqueta de plástico	RL1	2	1	2	0,072	
	Deslocamento até ao motor				48,6	1,7496	
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696	
	Caminhar até ao motor	WP	15	2	30	1,08	
5	Preparar a caneta					45,9	1,6884
	Alcançar a caneta	R20B	10	1	10	0,36	
	Pegar na caneta	G1A	2	1	2	0,072	
	Alcançar a tampa da caneta	R2A	2	1	2	0,072	
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072	
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144	
	Mover a tampa para a parte de trás da caneta	M14A	7.7	1	7.7	0,2772	
	Encaixar a tampa na parte de trás da caneta	P2S	16.2	1	16.2	0,5832	
	Largar a tampa da caneta	RL1	2	1	2	0,072	
6	Verificar a abraçadeira ao riscar com a caneta					14,3	0,5148
	Mover a caneta	M30B	14,3	1	14,3	0,5148	

Tabela A.12 - ED145: MTM do processo ("Gasóleo ou 4x4") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
7	Guardar a caneta				61,6	2,2176
	Alcançar a tampa da caneta	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a tampa da caneta	M14A	8,7	1	8,7	0,3132
	Tapar a caneta	P2S	16,2	1	16,2	0,5832
	Mover a caneta	M20B	11,5	1	11,5	0,414
	Guardar a caneta	P1NSE	10,4	1	10,4	0,3744
8	Examinar os tubos do lado esquerdo do motor				29,8	1,0728
	Olhar para os tubos	ET	7,6	2	15,2	0,5472
	Examinar as ligações dos tubos	EF	7,3	2	14,6	0,5256
9	Posicionar e prender os tubos				67	2,412
	Alcançar o tubo	R30B	12,8	1	12,8	0,4608
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Largar o tubo	RL1	2	1	2	0,072
	Alcançar o tubo	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo para a peça amarela	M22B	12,2	1	12,2	0,4392
	Posicionar o tubo na peça amarela	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Largar o tubo	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à parte de trás do motor				15	0,54
	Caminhar até à parte de trás do motor	WP	15	1	15	0,54
10	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
11	Posicionar os tubos				59	2,124
	Alcançar o tubo inferior	R26B	11,7	1	11,7	0,4212
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M26B	13,3	1	13,3	0,4788
	Largar o tubo	RL1	2	1	2	0,072
	Alcançar o tubo superior	R28B	12,2	1	12,2	0,4392
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M28B	13,8	1	13,8	0,4968
	Largar o tubo	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao lado direito traseiro do motor				15	0,54
	Caminhar até à parte de trás do motor	WP	15	1	15	0,54

Tabela A.12 - ED145: MTM do processo ("Gasóleo ou 4x4") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
12	Examinar componentes e abraçadeiras do motor				81,5	3,3610
	Olhar para as ligações da parte traseira do motor	ET	3,8	6	22,8	0,8208
	Examinar as ligações da parte traseira do motor	EF	7,3	6	43,8	1,5768
	Olhar para a abraçadeira	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar a abraçadeira	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para a abraçadeira	ET	4,56	1	4,56	0,1642
	Examinar a abraçadeira	EF	7,3	1	7,3	0,2628
13	Posicionar as cablagens dentro do tubo				201,7	7,2612
	Alcançar a cablagem	R22B	10,5	1	10,5	0,378
	Pegar a cablagem	G1A	2	1	2	0,072
	Mover a cablagem	M20B	11,5	1	11,5	0,414
	Posicionar a cablagem	P1SSd	14,7	1	14,7	0,5292
	Pegar na cablagem com a outra mão	G3	5,6	1	5,6	0,2016
	Alcançar a cablagem	R20B	10	1	10	0,36
	Pegar a cablagem	G1A	2	1	2	0,072
	Mover a cablagem	M20B	11,5	1	11,5	0,414
	Posicionar a cablagem	P1SSd	14,7	1	14,7	0,5292
	Pegar na cablagem com a outra mão	G3	5,6	1	5,6	0,2016
	Alcançar a cablagem	R20B	10	1	10	0,36
	Pegar a cablagem	G1A	2	1	2	0,072
	Mover a cablagem	M20B	11,5	1	11,5	0,414
	Posicionar a cablagem	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Pegar na cablagem com a outra mão	G3	5,6	1	5,6	0,2016
	Posicionar as cablagens	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Alcançar a cablagem	R12B	7,4	1	7,4	0,2664
	Pegar a cablagem	G1A	2	1	2	0,072
	Mover a cablagem	M12B	8,7	1	8,7	0,3132
	Posicionar a cablagem	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Pegar na cablagem com a outra mão	G3	5,6	1	5,6	0,2016
	Posicionar a cablagem	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Largar as cablagens	RL1	2	1	2	0,072
14	Posicionar os tubos				47,6	1,7136
	Alcançar o tubo	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M28B	13,8	1	13,8	0,4968
	Alcançar o tubo	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar o tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M16B	10,2	1	10,2	0,3672
	Largar os tubos	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.12 - ED145: MTM do processo ("Gasóleo ou 4x4") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
15	Posicionar as cablagens				74,7	2,6892
	Alcançar a cablagem	R18B	9,4	3	28,2	1,0152
	Pegar a cablagem	G1A	2	3	6	0,216
	Mover a cablagem	M20B	11,5	3	34,5	1,242
	Largar a cablagem	RL1	2	3	6	0,216
16	Pressionar componentes do motor				66,9	2,4084
	Alcançar a peça do motor	R20B	10	1	10	0,36
	Pegar na peça do motor	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar o tubo	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Dar um passo	RL1	2	1	2	0,072
	Alcançar o tubo	WP	15	1	15	0,54
	Pegar a peça	R24B	11,1	1	11,1	0,3996
	Pressionar o tubo	APB	16,2	1	16,2	0,5832
17	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor				71,46	2,526
	Olhar para a abraçadeira	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar a abraçadeira	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as ligações	ET	6,84	4	27,36	0,9850
	Examinar as ligações	EF	7,3	4	29,2	1,0512
	Deslocamento para a parte da frente do motor				15	0,54
	Caminhar para a parte da frente do motor	WP	15	1	15	0,54
18	Verificar o eixo				26,2	0,9432
	Alcançar o eixo	R20B	10	1	10	0,36
	Pressionar o eixo	APB	16,2	1	16,2	0,5832
	Deslocamento até à mesa das ferramentas				15	0,54
	Caminhar até à mesa das ferramentas	WP	15	1	15	0,54
19	Agarrar na ferramenta				10,8	0,3888
	Alcançar a ferramenta	R26A	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar na ferramenta	G1A	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao motor				33,6	1,2096
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até ao motor	WP	15	1	15	0,54
20	Verificar o eixo com a ferramenta				34,6	1,2456
	Mover a ferramenta	M10B	7,8	1	7,8	0,2808
	Posicionar a ferramenta	P2SE	16,2	1	16,2	0,5832
	Pressionar com a ferramenta	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até à mesa de ferramentas				33,6	1,2096
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa de ferramentas	WP	15	1	15	0,54
21	Guardar a ferramenta				12,6	0,4536
	Mover a ferramenta	M20A	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a ferramenta	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.12 - ED145: MTM do processo ("Gasóleo ou 4x4") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
22	Agarrar no <i>scanner</i>				12,4	0,4464
	Alcançar o <i>scanner</i>	R35A	10,4	1	10,4	0,3744
	Pegar no <i>scanner</i>	G1A	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao motor				18,6	0,6696
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
23	Ler o código da sonda com o <i>scanner</i>				15,5	0,558
	Mover o <i>scanner</i>	M35B	15,5	1	15,5	0,558
	Deslocamento até à mesa de ferramentas				33,6	1,2096
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa de ferramentas	WP	15	1	15	0,54
24	Guardar o <i>scanner</i>				26,1	0,9396
	Mover o <i>scanner</i>	M30A	13,7	1	13,7	0,4932
	Posicionar o <i>scanner</i>	P1NSE	10,4	1	10,4	0,3744
	Largar o <i>scanner</i>	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à mesa de trabalho				78,6	2,8296
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	4	60	2,16
25	Verificar os testes no ecrã				80,6	2,9016
	Alcançar o ecrã	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	3	31,8	1,1448
	Alcançar o botão de teste	R24A	8,5	1	8,5	0,306
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				33,6	1,2096
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
26	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.13 - ED145: MTM do processo ("Gasolina + 4x2")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					10,3587
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	10,3587

Tabela A.13 - ED145: MTM do processo ("Gasolina + 4x2") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
	Deslocamento até ao motor				30	1,08
	Caminhar até ao motor	WP	15	2	30	1,08
2	Agarrar na saqueta de plástico					0,5832
	Alcançar a saqueta de plástico	R35B	14,2	1	14,2	0,5112
	Pegar na saqueta de plástico	G1A	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao lado direito do motor				30	1,08
	Caminhar até ao lado direito do motor	WP	15	2	30	1,08
3	Agarrar na etiqueta e colocá-la na saqueta de plástico				28,6	1,0296
	Alcançar a etiqueta	R30B	12,8	1	12,8	0,4608
	Pegar na etiqueta	G1A	2	1	2	0,072
	Descolar a etiqueta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a etiqueta até à saqueta	M10B	7,8	1	7,8	0,2808
	Largar a etiqueta	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	4	60	2,16
4	Colocar a saqueta de plástico na mesa de trabalho				13,5	0,486
	Mover a saqueta de plástico até à mesa	M20B	11,5	1	11,5	0,414
	Largar a saqueta de plástico	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao motor				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até ao motor	WP	15	2	30	1,08
5	Preparar a caneta				45,9	1,6884
	Alcançar a caneta	R20B	10	1	10	0,36
	Pegar na caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Alcançar a tampa da caneta	R2A	2	1	2	0,072
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a tampa para a parte de trás da caneta	M14A	7,7	1	7,7	0,2772
	Encaixar a tampa na parte de trás da caneta	P2S	16,2	1	16,2	0,5832
	Largar a tampa da caneta	RL1	2	1	2	0,072
6	Verificar a abraçadeira ao riscar com a caneta				14,3	0,5148
	Mover a caneta	M30B	14,3	1	14,3	0,5148
7	Guardar a caneta				61,6	2,2176
	Alcançar a tampa da caneta	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar na tampa da caneta	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a tampa da caneta	D1E	4	1	4	0,144
	Mover a tampa da caneta	M14A	8,7	1	8,7	0,3132
	Tapar a caneta	P2S	16,2	1	16,2	0,5832
	Mover a caneta	M20B	11,5	1	11,5	0,414
	Guardar a caneta	P1NSE	10,4	1	10,4	0,3744

Tabela A.13 - ED145: MTM do processo ("Gasolina + 4x2") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
8	Examinar os tubos do lado esquerdo do motor				29,8	1,0728
	Olhar para os tubos	ET	7,6	2	15,2	0,5472
	Examinar as ligações dos tubos	EF	7,3	2	14,6	0,5256
9	Posicionar e prender os tubos				67	2,412
	Alcançar o tubo	R30B	12,8	1	12,8	0,4608
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M20B	10,5	1	10,5	0,378
	Largar o tubo	RL1	2	1	2	0,072
	Alcançar o tubo	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo para a peça amarela	M22B	12,2	1	12,2	0,4392
	Posicionar o tubo na peça amarela	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Largar o tubo	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à parte de trás do motor				15	0,54
	Caminhar até à parte de trás do motor	WP	15	1	15	0,54
10	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
11	Posicionar os tubos				59	2,124
	Alcançar o tubo inferior	R26B	11,7	1	11,7	0,4212
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M26B	13,3	1	13,3	0,4788
	Largar o tubo	RL1	2	1	2	0,072
	Alcançar o tubo superior	R28B	12,2	1	12,2	0,4392
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M28B	13,8	1	13,8	0,4968
	Largar o tubo	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao lado direito traseiro do motor				15	0,54
	Caminhar até à parte de trás do motor	WP	15	1	15	0,54
12	Examinar componentes e abraçadeiras do motor				81,5	3,3610
	Olhar para as ligações da parte traseira do motor	ET	3,8	6	22,8	0,8208
	Examinar as ligações da parte traseira do motor	EF	7,3	6	43,8	1,5768
	Olhar para a abraçadeira	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar a abraçadeira	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para a abraçadeira	ET	4,56	1	4,56	0,1642
	Examinar a abraçadeira	EF	7,3	1	7,3	0,2628

Tabela A.13 - ED145: MTM do processo ("Gasolina + 4x2") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
13	Posicionar as cablagens dentro do tubo				201,7	7,2612
	Alcançar a cablagem	R22B	10,5	1	10,5	0,378
	Pegar a cablagem	G1A	2	1	2	0,072
	Mover a cablagem	M20B	11,5	1	11,5	0,414
	Posicionar a cablagem	P1SSd	14,7	1	14,7	0,5292
	Pegar na cablagem com a outra mão	G3	5,6	1	5,6	0,2016
	Alcançar a cablagem	R20B	10	1	10	0,36
	Pegar a cablagem	G1A	2	1	2	0,072
	Mover a cablagem	M20B	11,5	1	11,5	0,414
	Posicionar a cablagem	P1SSd	14,7	1	14,7	0,5292
	Pegar na cablagem com a outra mão	G3	5,6	1	5,6	0,2016
	Alcançar a cablagem	R20B	10	1	10	0,36
	Pegar a cablagem	G1A	2	1	2	0,072
	Mover a cablagem	M20B	11,5	1	11,5	0,414
	Posicionar a cablagem	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Pegar na cablagem com a outra mão	G3	5,6	1	5,6	0,2016
	Posicionar as cablagens	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Alcançar a cablagem	R12B	7,4	1	7,4	0,2664
	Pegar a cablagem	G1A	2	1	2	0,072
	Mover a cablagem	M12B	8,7	1	8,7	0,3132
	Posicionar a cablagem	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Pegar na cablagem com a outra mão	G3	5,6	1	5,6	0,2016
	Posicionar a cablagem	P1SSD	14,7	1	14,7	0,5292
	Largar as cablagens	RL1	2	1	2	0,072
14	Posicionar os tubos				47,6	1,7136
	Alcançar o tubo	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M28B	13,8	1	13,8	0,4968
	Alcançar o tubo	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar o tubo	G1A	2	1	2	0,072
	Mover o tubo	M16B	10,2	1	10,2	0,3672
	Largar os tubos	RL1	2	1	2	0,072
15	Posicionar as cablagens				74,7	2,6892
	Alcançar a cablagem	R18B	9,4	3	28,2	1,0152
	Pegar a cablagem	G1A	2	3	6	0,216
	Mover a cablagem	M20B	11,5	3	34,5	1,242
	Largar a cablagem	RL1	2	3	6	0,216

Tabela A.13 - ED145: MTM do processo ("Gasolina + 4x2") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
16	Pressionar ligações do motor				66,9	2,4084
	Alcançar a tubagem do motor	R20B	10	1	10	0,36
	Pegar na tubagem do motor	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a tubagem	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Dar um passo	RL1	2	1	2	0,072
	Alcançar a tubagem	WP	15	1	15	0,54
	Pegar a tubagem	R24B	11,1	1	11,1	0,3996
	Pressionar a tubagem	APB	16,2	1	16,2	0,5832
17	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor				71,46	2,526
	Olhar para a abraçadeira	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar a abraçadeira	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as ligações	ET	6,84	4	27,36	0,9850
	Examinar as ligações	EF	7,3	4	29,2	1,0512
	Deslocamento para a parte da frente do motor				15	0,54
	Caminhar para a parte da frente do motor	WP	15	1	15	0,54
18	Verificar o eixo				26,2	0,9432
	Alcançar o eixo	R20B	10	1	10	0,36
	Pressionar o eixo	APB	16,2	1	16,2	0,5832
	Deslocamento até à mesa de trabalho				60	2,16
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	4	60	2,16
19	Verificar os testes no ecrã				80,6	2,9016
	Alcançar o ecrã	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	3	31,8	1,1448
	Alcançar o botão de teste	R24A	8,5	1	8,5	0,306
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				33,6	1,2096
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
20	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

## A.5 ED145: MTM do processo de reparação

Tabela A.14 - ED145: MTM do processo de reparação do semi-eixo

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
	Deslocamento até à mesa de apoio				30	1,08
	Caminhar até à mesa de apoio	WP	15	2	30	1,08
1	Deslocar a mesa de apoio até ao semi-eixo				111	3,996
	Alcançar a mesa de apoio	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar na mesa de apoio	G1A	2	1	2	0,072
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até ao semi-eixo	WP	15	5	75	2,7
	Posicionar a mesa de apoio	P1SE	5,6	1	5,6	0,2016
	Largar a mesa de apoio	RL1	2	1	2	0,072
2	Posicionar o semi-eixo na mesa de apoio				61,1	2,1996
	Alcançar o semi-eixo	R24A	8,5	1	8,5	0,306
	Pegar no semi-eixo	G1A	2	1	2	0,072
	Posicionar o semi-eixo	P3SD	48,6	1	48,6	1,7496
	Largar o semi-eixo	RL1	2	1	2	0,072
3	Posicionar a ferramenta				85,295	3,0706
	Alcançar a ferramenta	R45A	12,1	1	12,1	0,4356
	Pegar na ferramenta	G1A	2	1	2	0,072
	Mover a ferramenta	M40C	22,595	1	22,595	0,8134
	Posicionar a ferramenta	P3SD	48,6	1	48,6	1,7496
4	Aperto do semi-eixo					3,5947
	Aperto do semi-eixo	-	-	-	-	3,5947
5	Retirar a ferramenta				16,035	0,5773
	Mover a ferramenta	M20B	14,035	1	14,035	0,5053
	Largar a ferramenta	RL1	2	1	2	0,072
6	Retirar o semi-eixo da mesa de apoio				23,6	0,8496
	Alcançar o semi-eixo	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar no semi-eixo	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar o semi-eixo da mesa de apoio	D2D	11,8	1	11,8	0,4248
	Largar o semi-eixo	RL1	2	1	2	0,072
7	Deslocar a mesa de apoio até à sua posição				100,32	3,6115
	Alcançar a mesa de apoio	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar na mesa de apoio	G1A	2	1	2	0,072
	Retirar a mesa de apoio	M20B	12,52	1	12,52	0,4507
	Caminhar até à posição da mesa de apoio	WP	15	5	75	2,7
	Largar a mesa de apoio	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa de trabalho	WP	15	2	30	1,08

## A.6 PA210: MTM dos processos (proposta)

Tabela A.15 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasóleo + Automático")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)	
1	Tempo de transferência FTS					11,8537	
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537	
	Deslocamento até à <i>frame</i>				30	1,08	
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08	
2	Retirar um pedaço de fita do dispensador de fita					18,8	0,6768
	Alcançar o dispensador de fita	R40A	11,3	1	11,3	0,4068	
	Pegar um pedaço de fita	G1B	3,5	1	3,5	0,126	
	Retirar o pedaço de fita	D1E	4	1	4	0,144	
3	Colar o pedaço de fita na alavanca de velocidades					23,9	0,8604
	Mover a fita	M30B	13,3	1	13,3	0,4788	
	Colar a fita na alavanca de velocidades	APA	10,6	1	10,6	0,3816	
4	Agarrar no <i>scanner</i>					13,3	0,4788
	Alcançar o <i>scanner</i>	R40A	11,3	1	11,3	0,4068	
	Pegar no <i>scanner</i>	G1A	2	1	2	0,072	
5	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura					44,98	1,6193
	Alcançar o sensor de temperatura	R40B	15,6	1	15,6	0,5616	
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072	
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016	
	Mover o <i>scanner</i>	M50B	19,78	1	19,78	0,7121	
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072	
	Deslocamento até ao motor				60	2,16	
	Caminhar até ao motor	WP	15	4	60	2,16	
6	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura					47,024	1,6929
	Alcançar o sensor de temperatura	R50C	19,6	1	19,6	0,7056	
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072	
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016	
	Mover o <i>scanner</i>	M40B	17,824	1	17,824	0,6417	
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072	
7	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura					19,58	0,7049
	Alcançar o sensor de temperatura	R10B	6,3	1	6,3	0,2268	
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072	
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016	
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325	
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072	

Tabela A.15 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasóleo + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
8	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				22,08	0,7949
	Alcançar o sensor de temperatura	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à posição do <i>scanner</i>				60	2,16
	Caminhar até à posição do <i>scanner</i>	60	2,16	4	60	2,16
9	Guardar o <i>scanner</i>				33,24	1,1966
	Mover o <i>scanner</i>	M40C	20,84	1	20,84	0,7502
	Posicionar o <i>scanner</i>	P1NSE	10,4	1	10,4	0,3744
	Largar o <i>scanner</i>	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao motor				45	1,62
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
10	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor				14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62
11	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
12	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor				42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884
	Deslocamento para o lado esquerdo do motor				30	1,08
	Caminhar para o lado esquerdo do motor	WP	15	2	30	1,08
13	Examinar os apoios do motor				7,3	0,2628
	Examinar os apoios do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Deslocamento até à etiqueta do motor				75	2,7
	Caminhar até à etiqueta do motor	WP	15	5	75	2,7
14	Descolar a etiqueta do motor				28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144

Tabela A.15 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasóleo + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
15	Colar a etiqueta na mesa de trabalho				21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816
16	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
17	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.16 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasóleo + Manual")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
	Deslocamento até à <i>frame</i>				30	1,08
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08
2	Agarrar no <i>scanner</i>				13,3	0,4788
	Alcançar o <i>scanner</i>	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar no <i>scanner</i>	G1A	2	1	2	0,072
3	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				44,98	1,6193
	Alcançar o sensor de temperatura	R40B	15,6	1	15,6	0,5616
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M50B	19,78	1	19,78	0,7121
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao motor				60	2,16
	Caminhar até ao motor	WP	15	4	60	2,16

Tabela A.16 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasóleo + Manual") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
4	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				47,024	1,6929
	Alcançar o sensor de temperatura	R50C	19,6	1	19,6	0,7056
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M40B	17,824	1	17,824	0,6417
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
5	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				19,58	0,7049
	Alcançar o sensor de temperatura	R10B	6,3	1	6,3	0,2268
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
6	Efetuar a leitura do BZD do sensor de temperatura				22,08	0,7949
	Alcançar o sensor de temperatura	R16B	8,8	1	8,8	0,3168
	Pegar no sensor de temperatura	G1A	2	1	2	0,072
	Repegar o sensor de temperatura	G2	5,6	1	5,6	0,2016
	Mover o <i>scanner</i>	M2B	3,68	1	3,68	0,1325
	Largar o sensor de temperatura	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até à posição do <i>scanner</i>				60	2,16
	Caminhar até à posição do <i>scanner</i>	60	2,16	4	60	2,16
7	Guardar o <i>scanner</i>				33,24	1,1966
	Mover o <i>scanner</i>	M40C	20,84	1	20,84	0,7502
	Posicionar o <i>scanner</i>	P1NSE	10,4	1	10,4	0,3744
	Largar o <i>scanner</i>	RL1	2	1	2	0,072
	Deslocamento até ao motor				45	1,62
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
8	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor				14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62
9	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
10	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor				42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884

Tabela A.16 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasóleo + Manual") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
	Deslocamento para o lado esquerdo do motor				30	1,08
	Caminhar para o lado esquerdo do motor	WP	15	2	30	1,08
11	Examinar os apoios do motor				7,3	0,2628
	Examinar os apoios do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Deslocamento até à etiqueta do motor				75	2,7
	Caminhar até à etiqueta do motor	WP	15	5	75	2,7
12	Descolar a etiqueta do motor				28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
13	Colar a etiqueta na mesa de trabalho				21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816
14	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
15	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.17 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasolina + Automático")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
	Deslocamento até à <i>frame</i>				30	1,08
	Caminhar até à <i>frame</i>	WP	15	2	30	1,08

Tabela A.17 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasolina + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
2	Retirar um pedaço de fita do dispensador de fita				18,8	0,6768
	Alcançar o dispensador de fita	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar um pedaço de fita	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Retirar o pedaço de fita	D1E	4	1	4	0,144
3	Colar o pedaço de fita na alavanca de velocidades				23,9	0,8604
	Mover a fita	M30B	13,3	1	13,3	0,4788
	Colar a fita na alavanca de velocidades	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Deslocamento até ao motor				45	1,62
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
4	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor				14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62
5	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
6	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor				42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884
	Deslocamento para o lado esquerdo do motor				30	1,08
	Caminhar para o lado esquerdo do motor	WP	15	2	30	1,08
7	Examinar os apoios do motor				7,3	0,2628
	Examinar os apoios do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Deslocamento até à etiqueta do motor				75	2,7
	Caminhar até à etiqueta do motor	WP	15	5	75	2,7
8	Descolar a etiqueta do motor				28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
9	Colar a etiqueta na mesa de trabalho				21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816

Tabela A.17 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasolina + Automático") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
10	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
11	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072

Tabela A.18 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasolina + Manual")

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
1	Tempo de transferência FTS					11,8537
	Transferência da <i>frame</i> para a estação	-	-	-	-	11,8537
	Deslocamento até ao motor				45	1,62
	Caminhar até ao motor	WP	15	3	45	1,62
2	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor				14,6	0,5256
	Examinar as abraçadeiras do lado direito do motor	EF	7,3	2	14,6	0,5256
	Deslocamento até à parte da frente do motor				45	1,62
	Caminhar até à parte da frente do motor	WP	15	3	45	1,62
3	Verificar a correia				22,4	0,8064
	Alcançar a correia	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pegar a correia	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a correia	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a correia	RL1	2	1	2	0,072
4	Examinar as abraçadeiras e componentes da frente do motor				42,12	1,5163
	Olhar para a tubagem do motor	ET	5,32	1	5,32	0,1915
	Examinar a tubagem do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Olhar para as abraçadeiras do motor	ET	7,6	1	7,6	0,2736
	Examinar as abraçadeiras do motor	EF	7,3	3	21,9	0,7884
	Deslocamento para o lado esquerdo do motor				30	1,08
	Caminhar para o lado esquerdo do motor	WP	15	2	30	1,08

Tabela A.18 - PA210F: MTM do processo proposto ("Gasolina + Manual") (continuação)

Nº	Descrição	Código	Tempo (TMU)	Frequência	Tempo total (TMU)	Tempo total (seg)
5	Examinar os apoios do motor				7,3	0,2628
	Examinar os apoios do motor	EF	7,3	1	7,3	0,2628
	Deslocamento até à etiqueta do motor				75	2,7
	Caminhar até à etiqueta do motor	WP	15	5	75	2,7
6	Descolar a etiqueta do motor				28,7	1,0332
	Alcançar a etiqueta do motor	R60B	21,2	1	21,2	0,7632
	Pegar a etiqueta do motor	G1B	3,5	1	3,5	0,126
	Descolar a etiqueta do motor	D1E	4	1	4	0,144
	Deslocamento até à mesa de trabalho				48,6	1,7496
	Rodar o corpo	TBC1	18,6	1	18,6	0,6696
	Caminhar até à mesa	WP	15	2	30	1,08
7	Colar a etiqueta na mesa de trabalho				21,8	0,7848
	Mover a etiqueta	M22B	11,2	1	11,2	0,4032
	Colar a etiqueta na mesa	APA	10,6	1	10,6	0,3816
8	Verificar os testes no ecrã				52,6	1,8936
	Alcançar o ecrã	R50A	13	1	13	0,468
	Pressionar o ecrã	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Alcançar o botão de teste	R20A	7,8	1	7,8	0,2808
	Pressionar o botão de teste	APA	10,6	2	21,2	0,7632
	Deslocamento até à corda de libertação da estação				15	0,54
	Caminhar até à corda de libertação da estação	WP	15	1	15	0,54
9	Puxar a corda de libertação da estação				25,9	0,9324
	Alcançar a corda	R40A	11,3	1	11,3	0,4068
	Pegar a corda	G1A	2	1	2	0,072
	Puxar a corda	APA	10,6	1	10,6	0,3816
	Largar a corda	RL1	2	1	2	0,072



| B

## FOLHAS DE TRABALHO *STANDARD*

## B.1 PA210: Folhas de trabalho *standard* (turnos A e B)

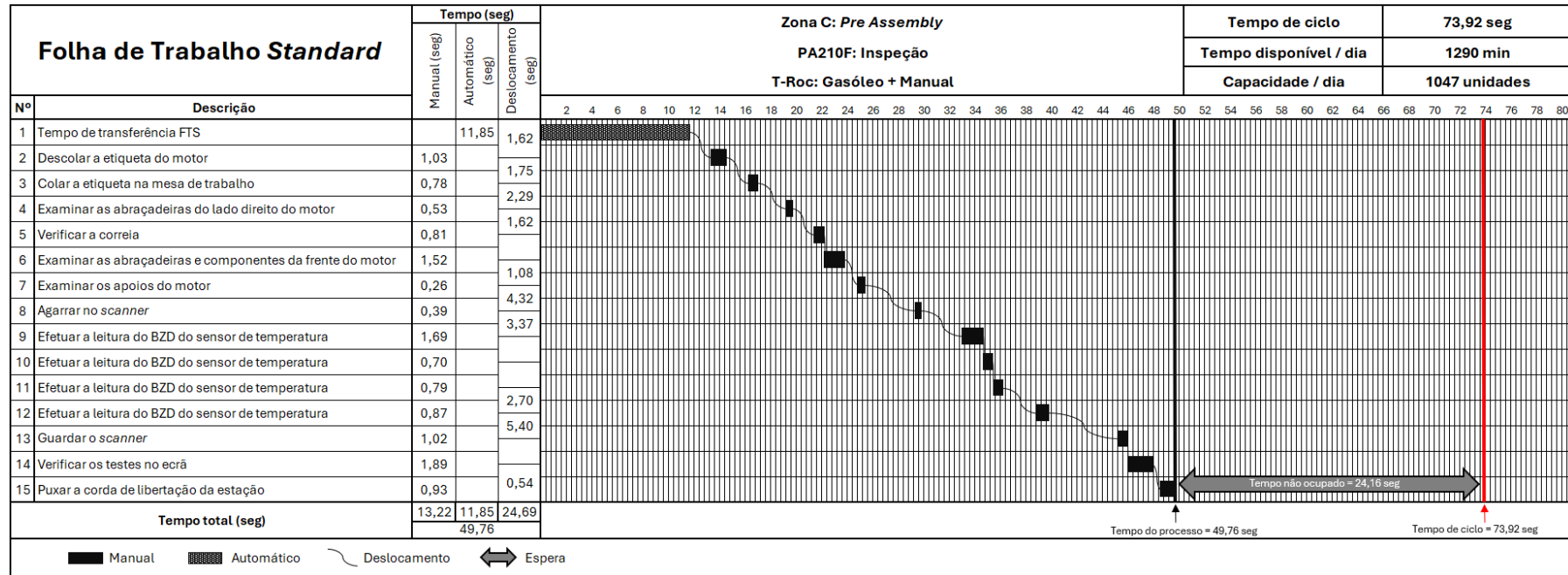


Figura B.1 - PA210F: Folha de trabalho *standard* ("Gasóleo + Manual")

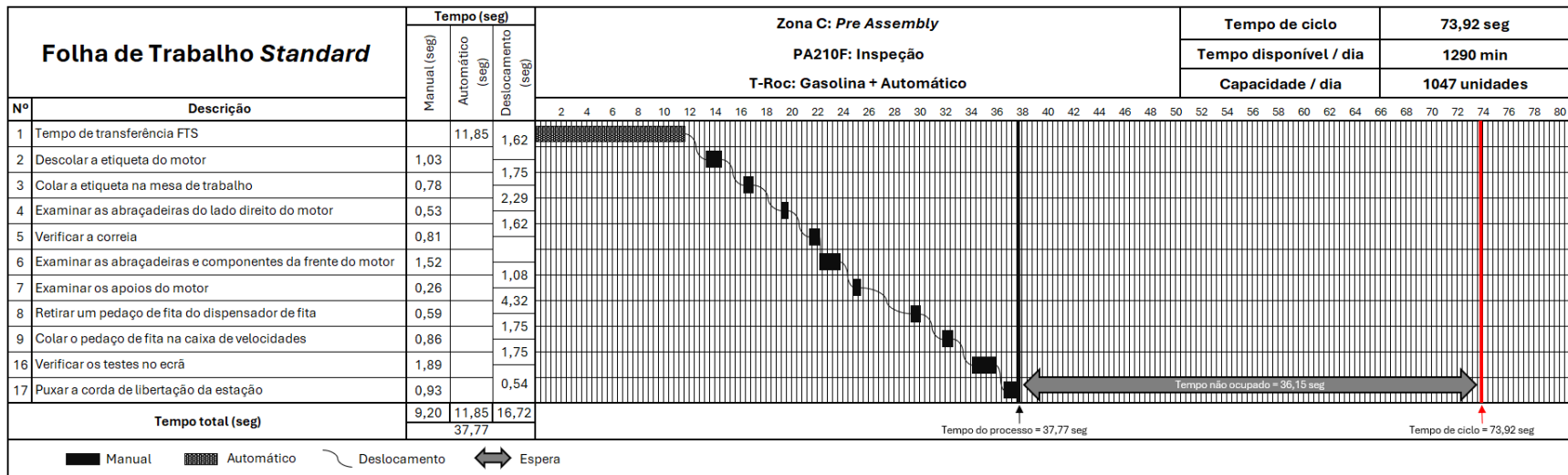


Figura B.2 - PA210F: Folha de trabalho *standard* ("Gasolina + Automático")

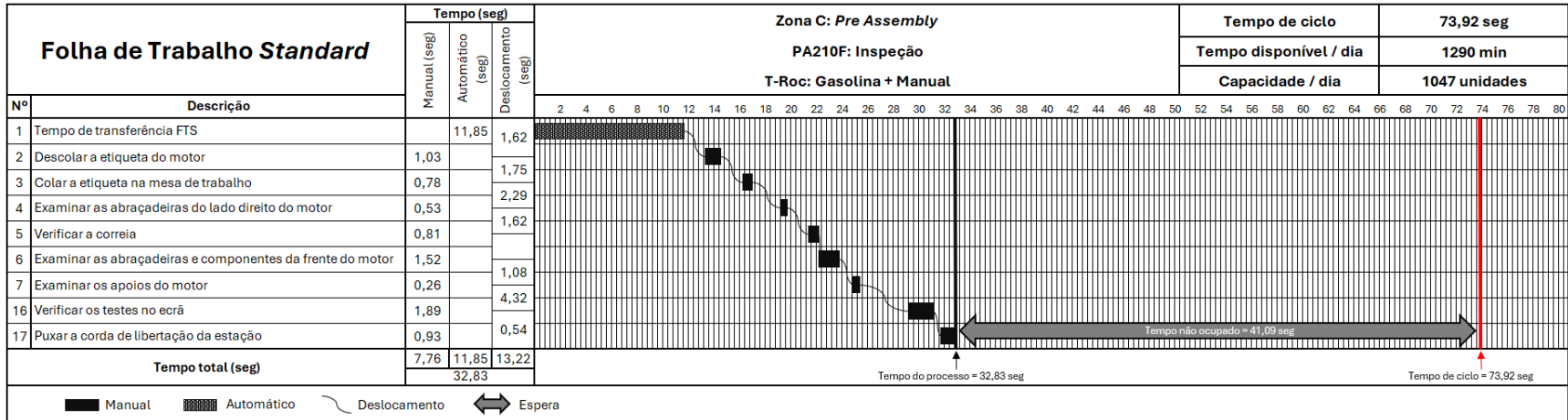


Figura B.3 - PA210F: Folha de trabalho *standard* ("Gasolina + Manual")

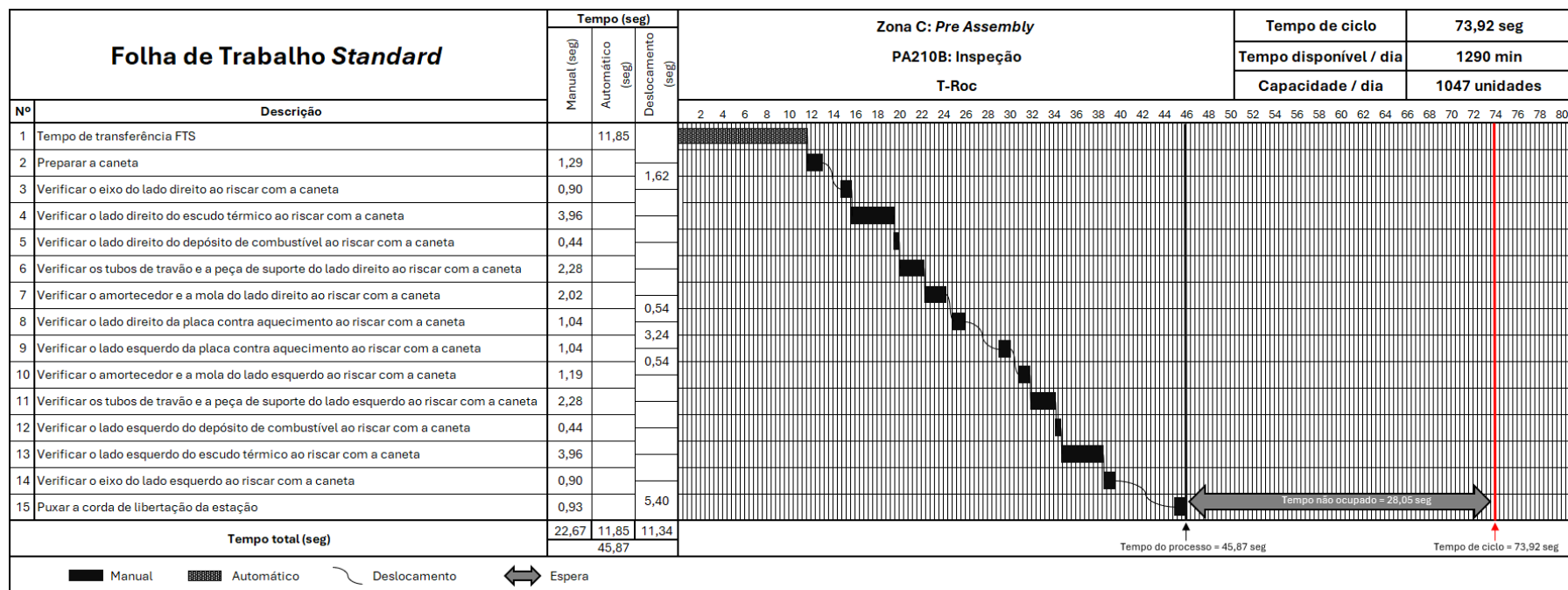


Figura B.4 - PA210B: Folha de trabalho *standard*

## B.2 PA210: Folhas de trabalho *standard* (turnos C e D)

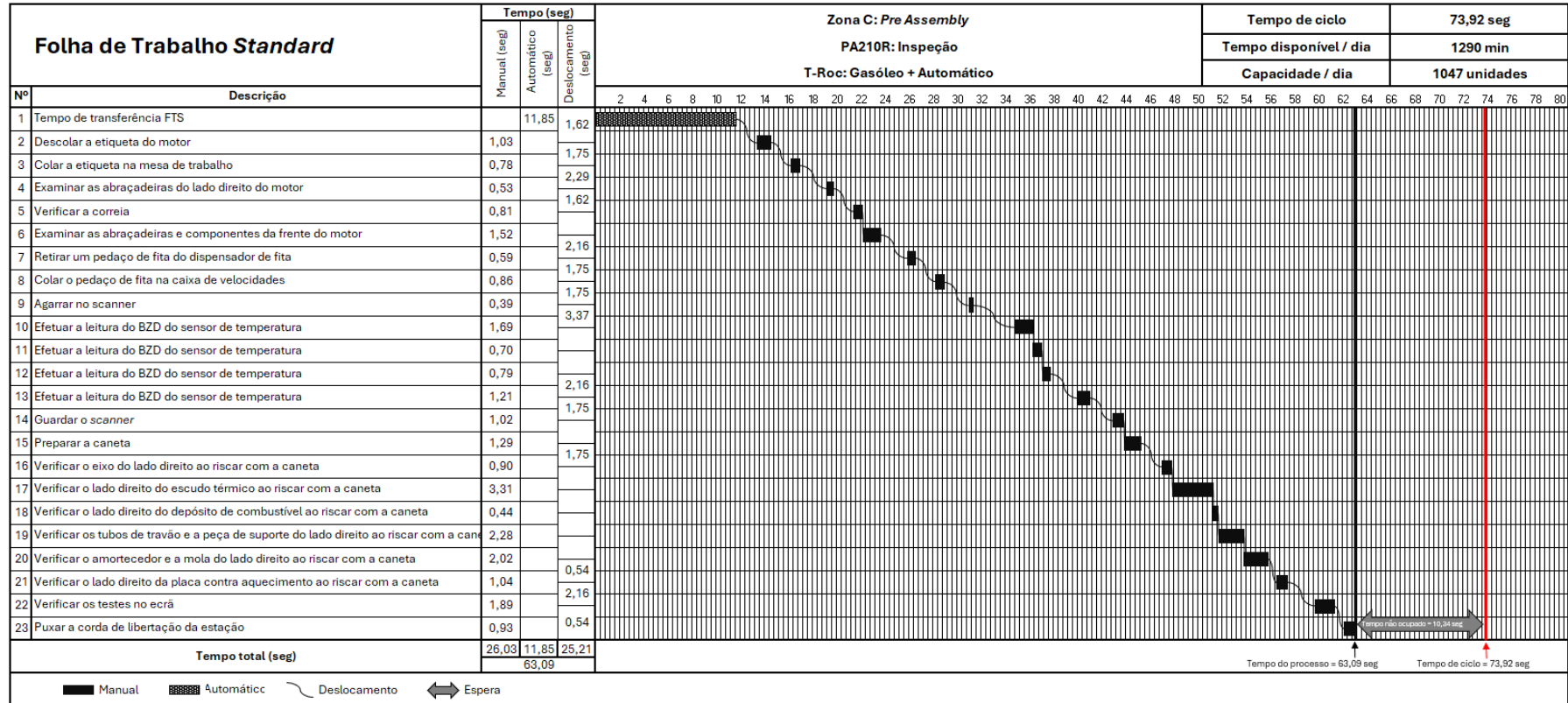


Figura B.5 - PA210R: Folha de trabalho *standard* ("Gasóleo + Automático")

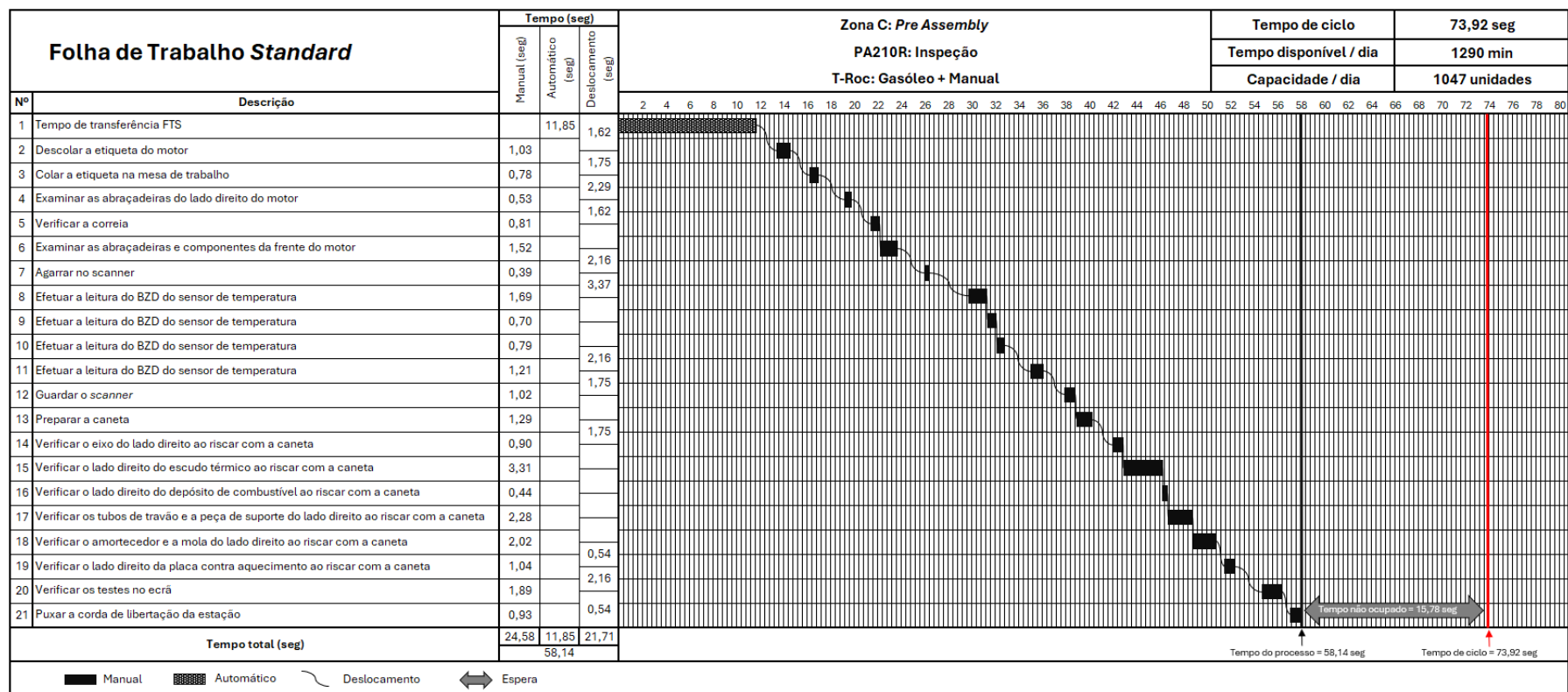


Figura B.6 - PA210R: Folha de trabalho *standard* ("Gasóleo + Manual")

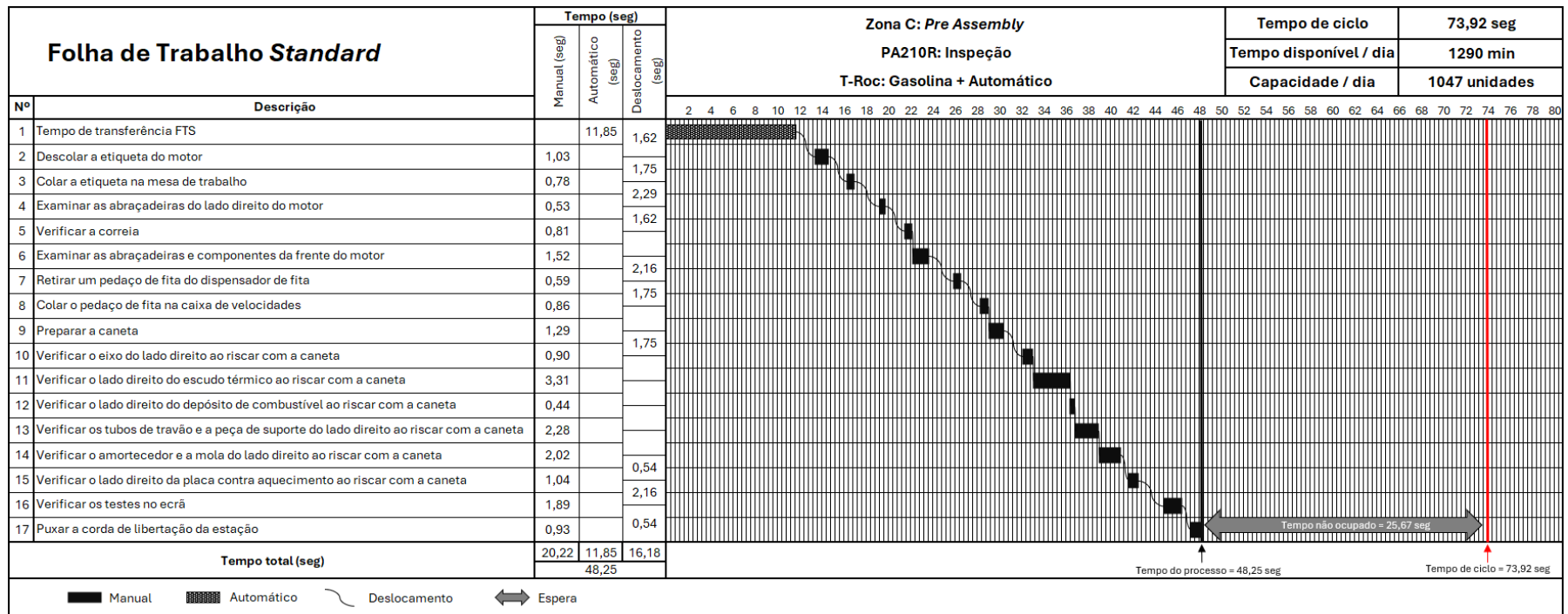


Figura B.7 - PA210R: Folha de trabalho *standard* ("Gasolina + Automático")

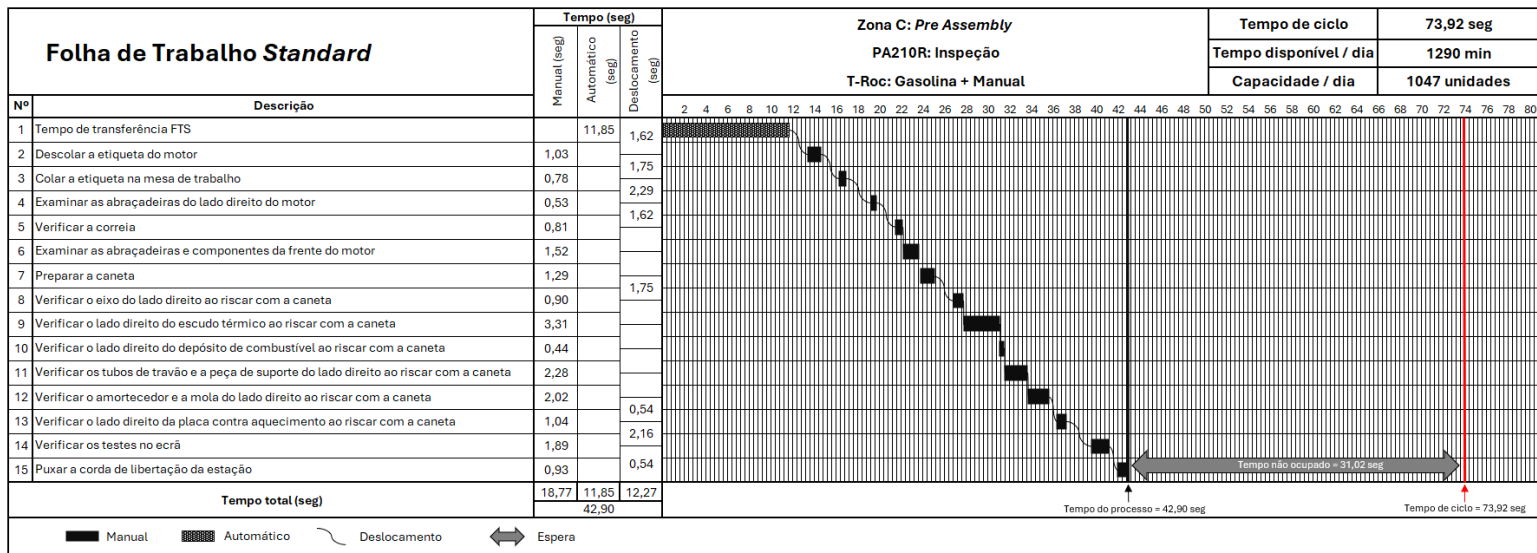


Figura B.8 - PA210R: Folha de trabalho *standard* ("Gasolina + Manual")

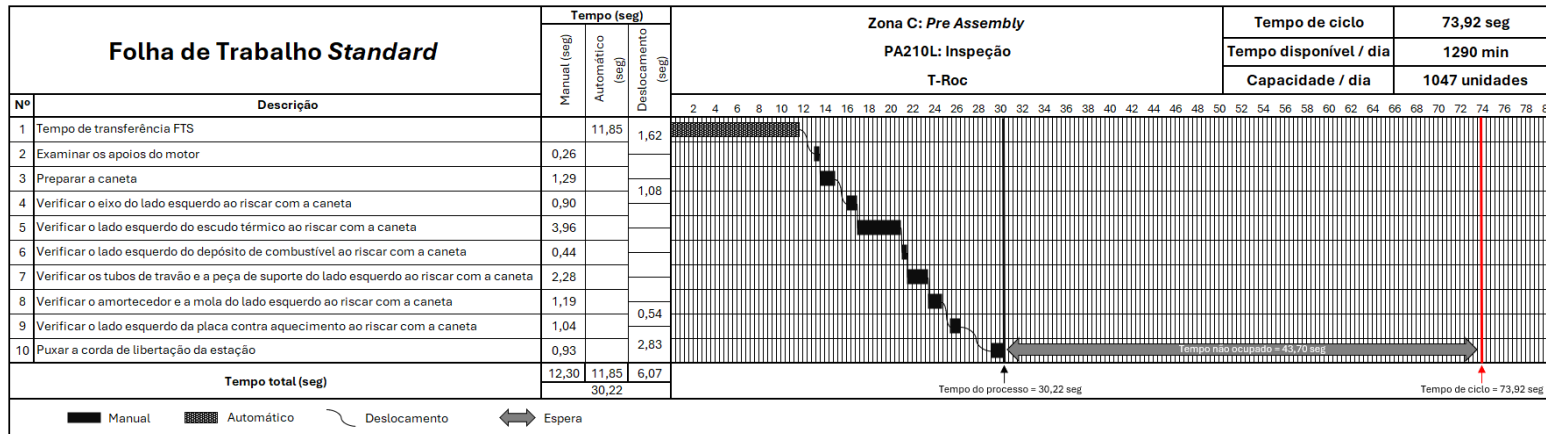


Figura B.9 - PA210L: Folha de trabalho *standard*

### B.3 PA210: Folhas de trabalho *standard* (proposta)

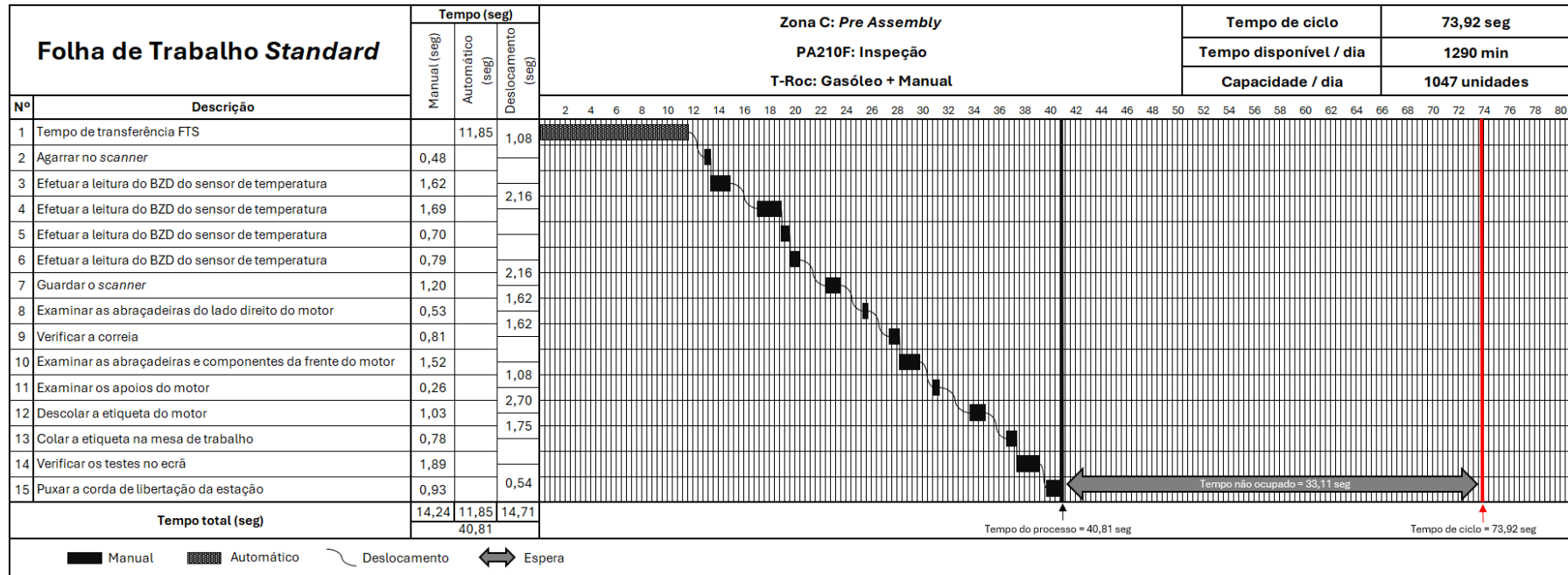


Figura B.10 - PA210F: Folha de trabalho *standard* proposta ("Gasóleo + Manual")

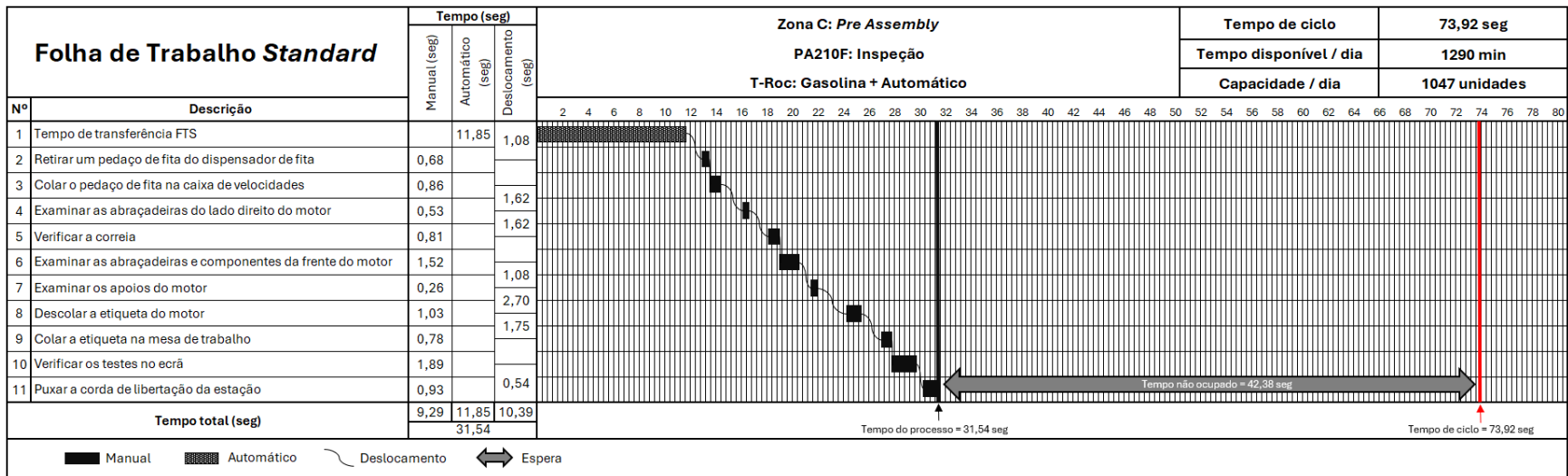


Figura B.11 - PA210F: Folha de trabalho *standard* proposta ("Gasolina + Automático")

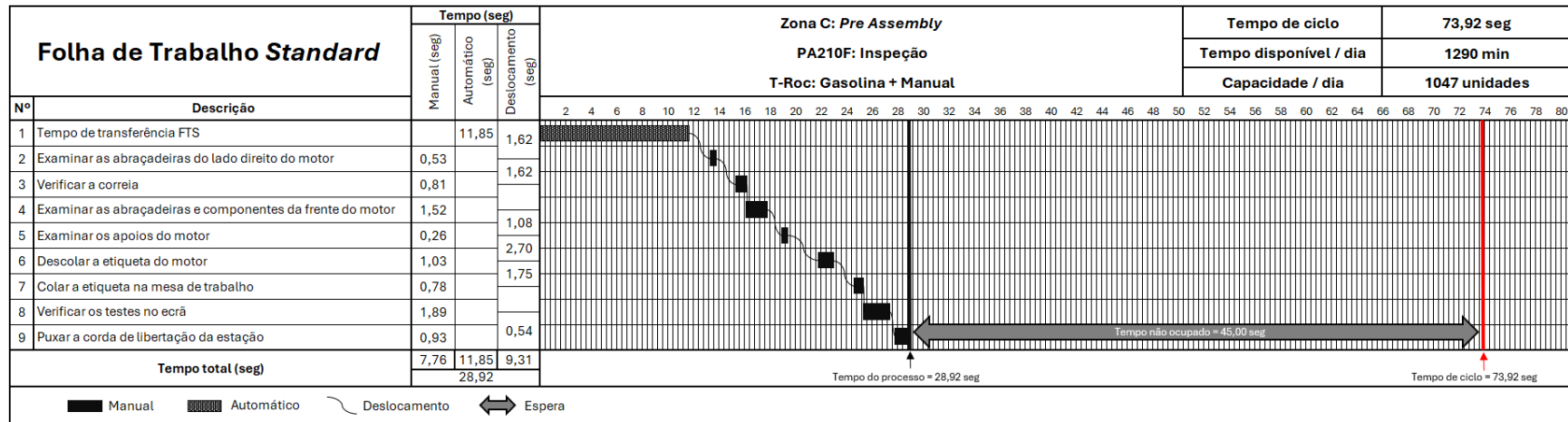


Figura B.12 - PA210F: Folha de trabalho *standard* proposta ("Gasolina + Manual")

| c

## MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

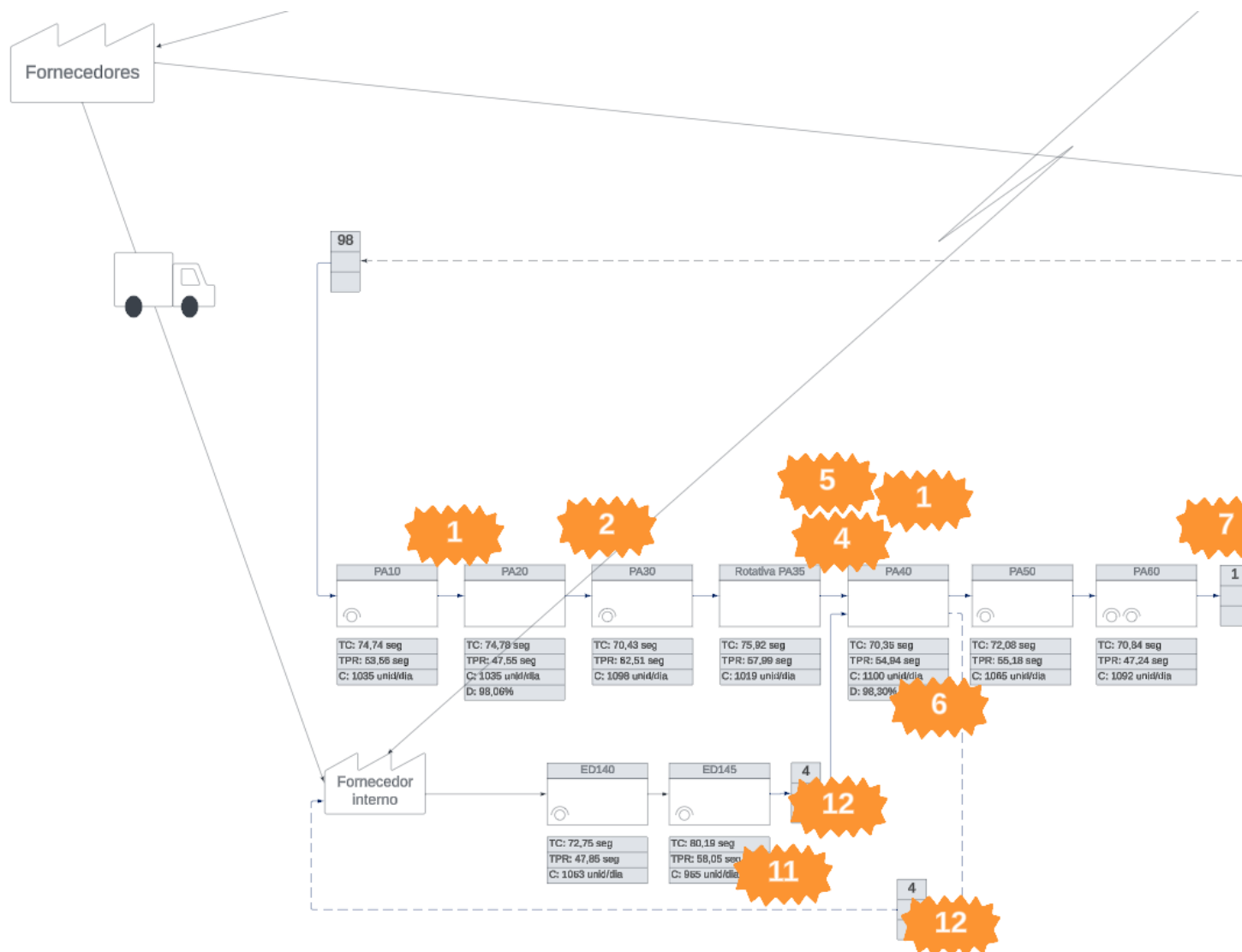


Figura C.1 - VSM atual com oportunidades de melhoria: Secção inicial da Zona PA

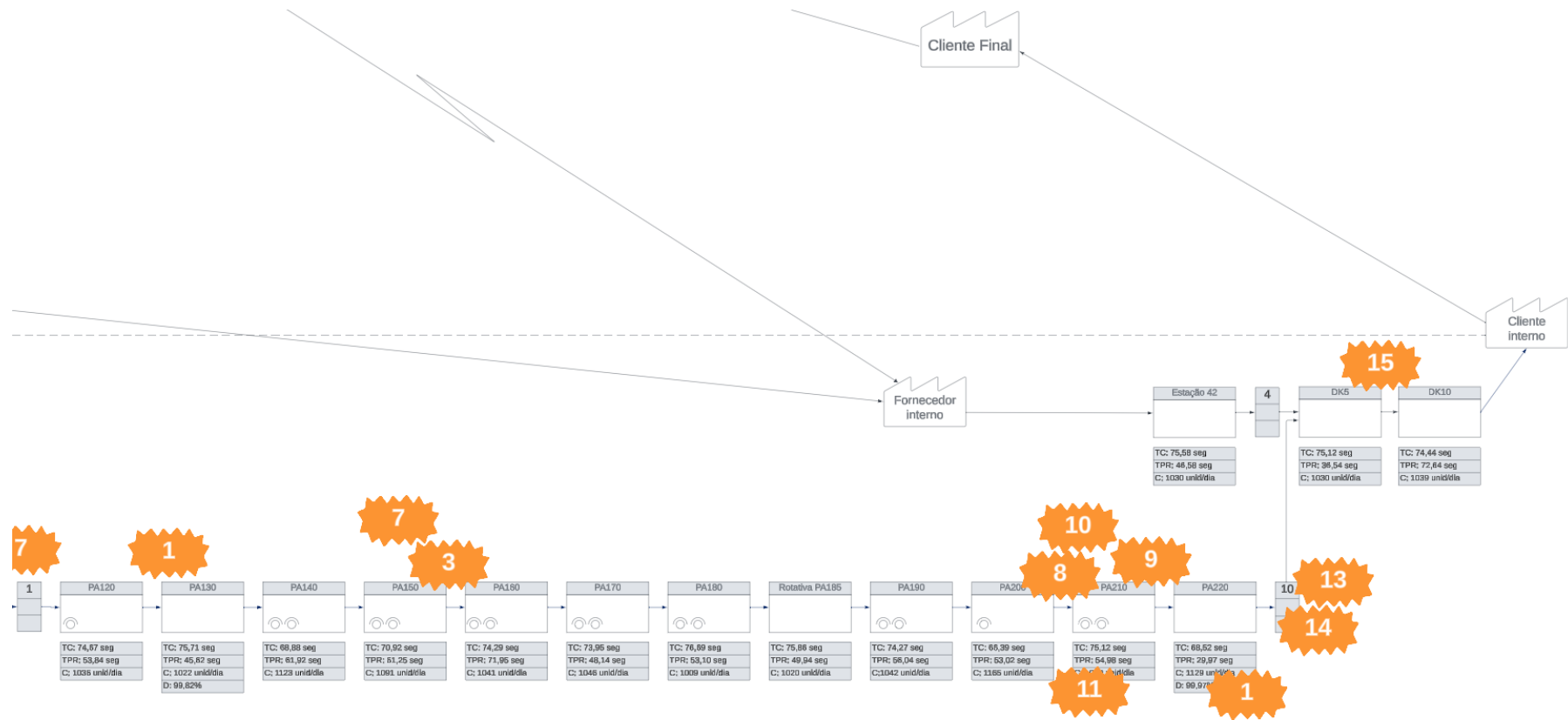


Figura C.2 - VSM atual com oportunidades de melhoria: Secção final da Zona PA

## VERIFICAÇÃO DO IMPACTO DAS MELHORIAS NÃO PRIORITÁRIAS

Segue-se o desenvolvimento das propostas de melhoria consideradas para implementação tardia e para revisão, bem como os potenciais impactos esperados.

### D.1 Melhorias de Implementação Não Prioritária

#### 3. Implementar um sinal luminoso de aviso de que o próximo veículo tem trabalho na estação

A proposta de implementação da ferramenta de gestão visual na estação PA150, é uma estratégia para a eliminação de ocorrências em que o veículo com trabalho chega à estação de trabalho e os operadores não estão prontos para iniciar o processo, por estarem de costas para a estação de trabalho a efetuarem pré-montagens. Este sinal luminoso deverá ser acionado quando o veículo em questão chega à estação PA140 (estação anterior à PA150 em que se verifica o desperdício) e deve estar posicionado na mesa de pré-montagens utilizada pelos operadores, para que estes reparem no acionamento da mesma. Assim, os operadores das estações PA150 e PA160, têm tempo de terminar as pré-montagens que estavam a efetuar anteriormente ou de se deslocarem até ao seu posto de trabalho antes da chegada do veículo. Isto eliminará tempos de espera do veículo na estação PA150, o que reduzirá o risco de exceção do *takt time* nesta estação e na seguinte, que tem os mesmos operadores alocados.

#### 2. Posicionar a câmara de verificação da posição do pino de suporte na estação PA30

Para a posição do pino de suporte do motor já existe um *poke-yoke* implementado: uma câmara de verificação da posição do pino, a qual aciona um sinal luminoso na ocorrência de um erro. No entanto, esta câmara está posicionada na rotativa PA35, a qual não tem nenhum

colaborador alocado, originando tempos de espera quando o *poke-yoke* é acionado. A proposta para este *poke-yoke* é que seja colocado na estação PA30, tal como representado na Figura D.1.

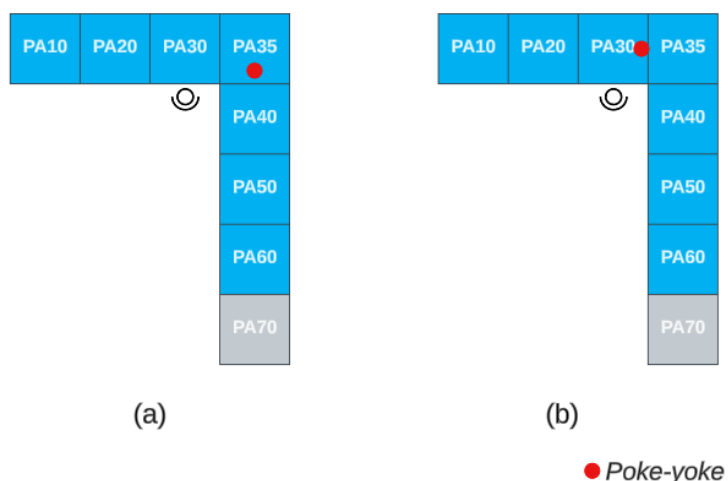


Figura D.1 - Posicionamento da câmera de verificação do pino  
(a) atual, (b) proposta

Com a proposta efetuada o operador realiza o processo no veículo e, quando termina puxa corda para libertar a estação. Quando esta é puxada, a câmera deve efetuar a leitura da posição do pino. Se o operador efetuou o processo corretamente e a câmera não falhou ao ler a posição do pino, o veículo segue para a rotativa PA35. Caso contrário, o veículo permanece na estação PA30 e é gerado um aviso de falha no ecrã disponível na estação, acompanhado de um sinal sonoro. Assim, o operador corrige imediatamente o seu erro e pede no ecrã que a leitura da posição do pino seja efetuada novamente, seguindo depois o veículo para a rotativa PA35.

Assim, prevê-se uma redução de 12% do tempo de paragem da estação PA40, através da eliminação de uma das causas representativas das paragens desta estação. Isto reflete-se num aumento da disponibilidade desta estação para 98,49%, representando um aumento de 0,19%.

### 1. Implementar um sinal sonoro de aviso de falhas nas estações automáticas

Como referido anteriormente, a Zona PA já possui um *Andon* que sinaliza a ocorrência de falhas na linha. No entanto, o sinal é apenas luminoso, o que representa algumas fragilidades na identificação do mesmo. É, portanto, sugerido um *Andon* que inclua, para além do sinal luminoso, um sinal sonoro de aviso de falha. Com esta proposta, o sinal sonoro alertará imediatamente os funcionários para a ocorrência de uma falha na linha e poderão então recorrer

ao sinal luminoso para identificar qual o local da falha. Espera-se que a implementação desta ferramenta reduza o MTTR dos equipamentos, aumentando, conseqüentemente, a disponibilidade dos equipamentos e da linha de produção.

**7. A *frame* não parar nas estações sem trabalho quando a próxima estação com trabalho está vazia**

Dado o tempo associado ao transporte da *frame* entre estações com trabalho, ao passar por estações sem trabalho, sugere-se que a *frame* não pare nas mesmas e siga diretamente para a próxima estação com trabalho, no caso de esta se encontrar livre. Na Figura D.2, apresentam-se as diferenças no *lead time* dos casos identificados com este desperdício, consoante o que acontece atualmente no chão de fábrica e o proposto.

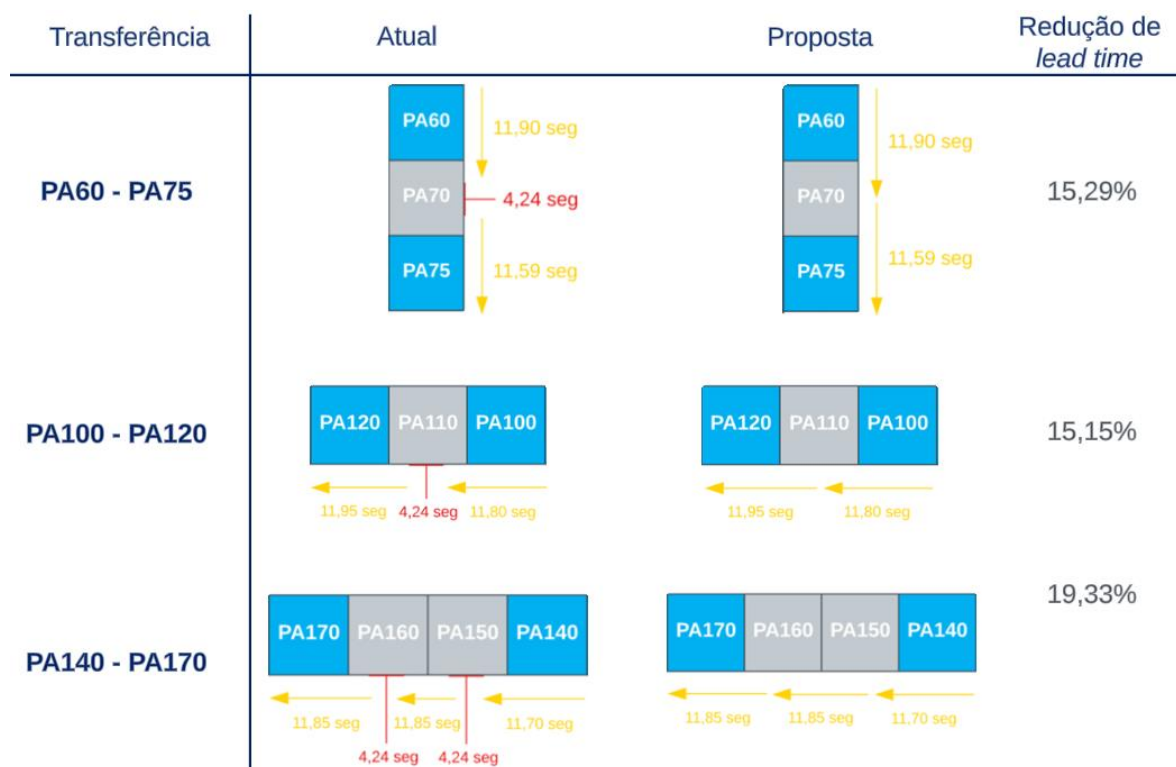


Figura D.2 - Estações sem trabalho: *Lead time* da *frame* (atual e proposta)

Verifica-se que, ao implementar as alterações sugeridas, o *lead time* da estação PA60 para a PA75 irá reduzir 15,29%, passando este a ser aproximadamente 23,49 segundos. A transferência da estação PA100 para a PA120, com uma redução de 15,15% no *lead time*, passaria a ter um valor de 23,75 segundos associados ao transporte. No caso dos veículos de tração em duas rodas, entre as estações PA140 e PA170, o *lead time* reduz 19,33%, passando a ser de 35,40 segundos.

**12. Os AGVs seguirem diretamente para a posição do *buffer* mais próxima do ponto de uso sem pararem nas posições anteriores**

No transporte dos AGVs da estação ED145 para a estação PA40 e da estação PA40 para a estação ED20, foi identificado um desperdício, causado pelas paragens de cerca de 3,88 segundos.

Ao observar o fluxo de AGVs da estação ED145 para a estação PA40 e da estação PA40 para a estação ED20, verificou-se que os AGVs realizam paragens nas posições dos *buffers*, mesmo que a posição seguinte esteja vazia, o que aumenta o *lead time* do AGV entre as duas linhas. Na Figura D.3, é representada a secção da linha correspondente aos *buffers* onde são realizadas as paragens.

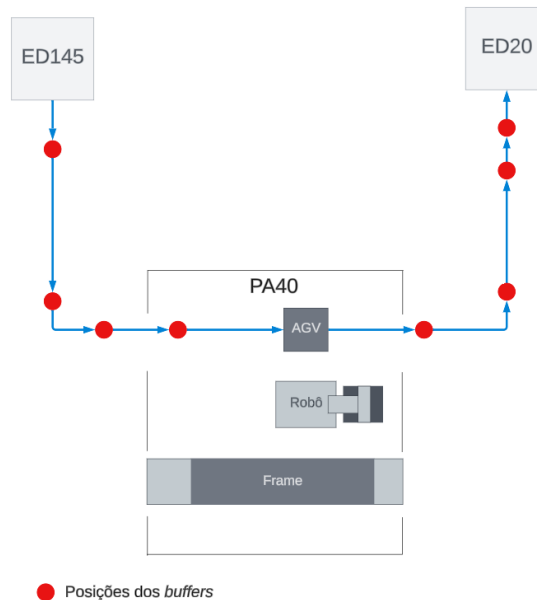


Figura D.3 - Trajeto efetuado pelos AGVs entre o *Engine Dress* e a PA40

Sugere-se que estas paragens não tenham de ser efetuadas, através da implementação de uma configuração nos AGVs de maneira a que estes consigam proceder para o ponto mais próximo do seu ponto de uso sem que haja paragens no seu trajeto. Na Tabela D.1, é apresentado o *lead time* entre as estações em questão, após a implementação da proposta efetuada, bem como a redução desse tempo.

Tabela D.1 - PA40: *Lead time* para os *buffers* da Zona ED (atual e proposta)

	Tempo ED145 - PA40	Tempo PA40 - ED20
<b>Atual</b>	76,79 seg	81,11 seg
<b>Proposta</b>	61,27 seg	65,59 seg
<b>Redução</b>	20,21%	19,13%

Espera-se então uma redução de 20,21% no tempo de transporte no *buffer* entre as estações ED145 e PA40 e uma redução de 19,13% entre as estações PA40 e ED20.

## D.2 Melhorias para Revisão

### 15. Libertar a estação DK5 CC2

Outra oportunidade de melhoria que impacta o tempo de espera na Zona PA, foi identificada no início da Zona DK. Como referido anteriormente, a DK5 é a estação em que é efetuada a verificação de que o próximo chassis e próxima carroçaria a chegar à estação DK10 são correspondentes. Sugere-se que esta operação seja efetuada apenas na estação DK10, permitindo que, quando um dos componentes ainda não chegou ao *Decking*, o outro possa seguir diretamente para a estação DK10, tal como representado na Figura D.4.

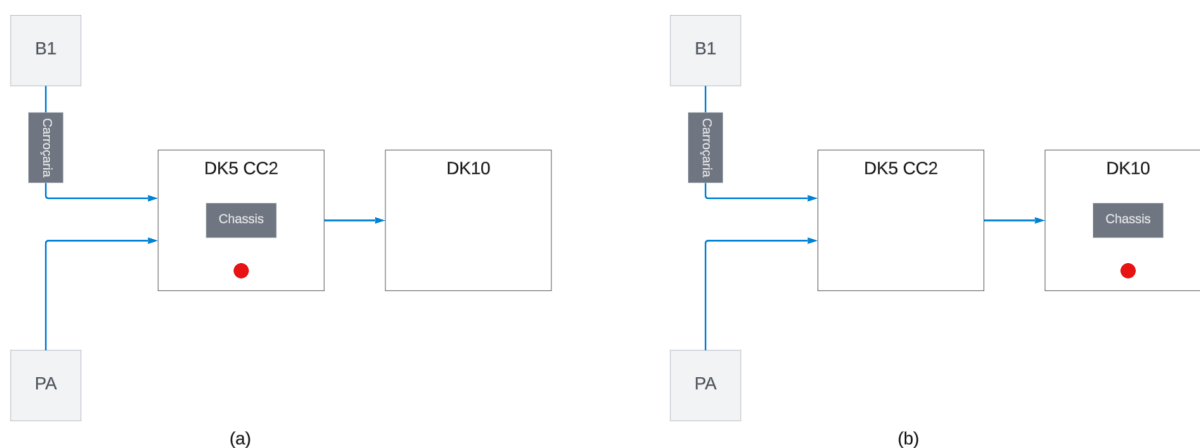


Figura D.4 - Correspondência do chassis e carroçaria

(a) atual, (b) proposta

Esta alteração irá libertar a estação DK5 CC2 de qualquer trabalho e irá permitir que uma posição no *buffer* seja libertada mais cedo do que o que ocorre atualmente, reduzindo-se o risco de paragem tanto das zonas PA como B1.

### 5. O AGV vazio começa a sair do seu ponto de uso na PA40 assim que o robô agarra no motor

Na Figura D.5 encontra-se uma representação do processo atual e da proposta a ser presentemente apresentada.

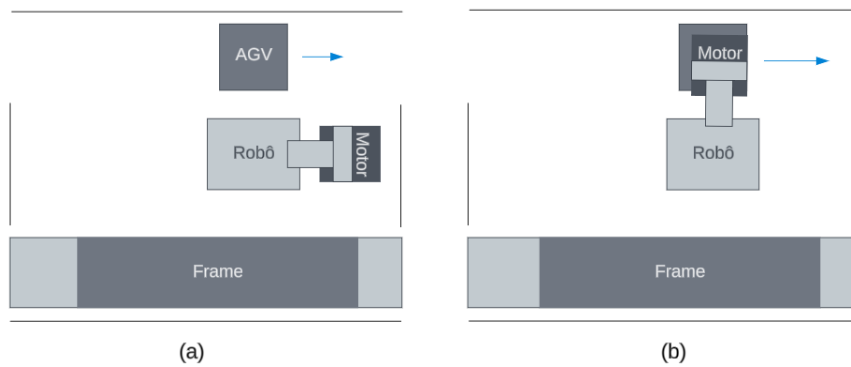


Figura D.5 - PA40: Saída de AGV

(a) atual, (b) proposta

Atualmente, o AGV que acaba de ser esvaziado com o motor apenas começa a sair do seu ponto de uso, quando o robô posiciona o motor perto da mesa de trabalho. A proposta para este caso é que o AGV se comece a retirar da posição assim que o robô termina a atividade "Agarrar o motor". É apresentada na Figura D.6 uma simulação estática do processo na PA40 para calcular o tempo de ciclo ideal na estação segundo o processo atual e a proposta.

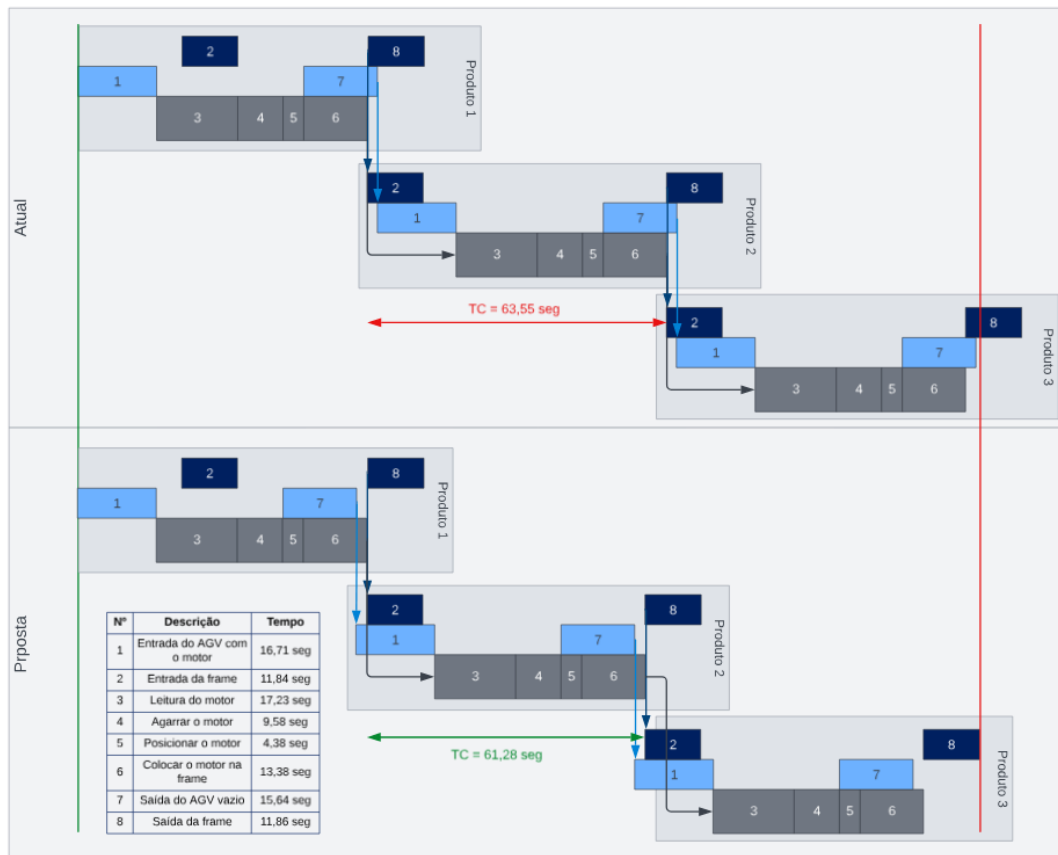


Figura D.6 - PA40: Diagrama de processos da saída do AGV (atual e proposta)

Os tempos de cada operação utilizados são obtidos através da cronometragem de 30 observações da cada uma das operações. Como se pode ver pela figura, ao efetuar esta alteração, o tempo de ciclo ideal reduz de 63,55 segundos para 61,28 segundos (redução de 2,27 segundos).

A acrescentar, esta sugestão permite a libertação do AGV esvaziado 4,38 segundos mais cedo no processo, contribuindo para a melhoria do fluxo de AGVs entre a estação PA40 e ambas as extremidades da Zona ED.

## 6. O AGV com o próximo motor começa a ir para o seu ponto de uso na PA40 assim que o AGV vazio começa a sair desse ponto

A acrescentar à proposta 5, verificou-se outra oportunidade de melhoria, representada na Figura D.7.

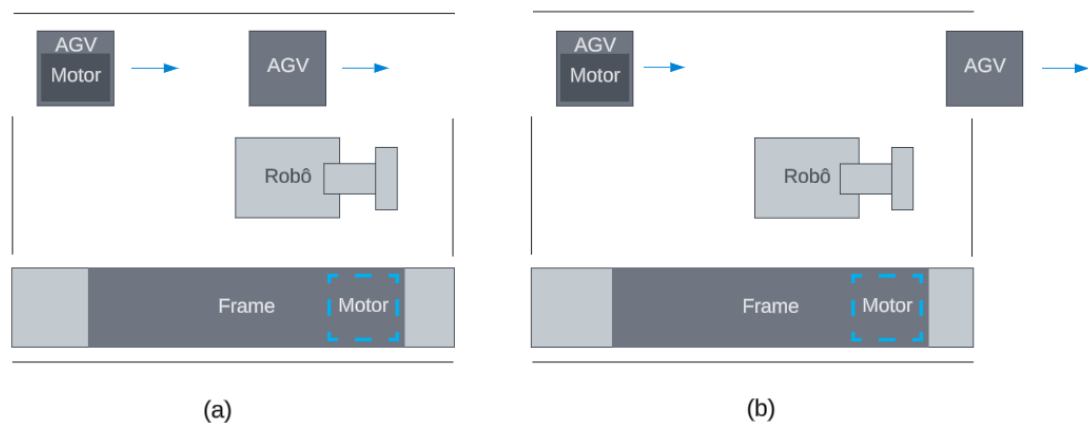


Figura D.7 - PA40: Entrada do AGV

(a) atual, (b) proposta

No processo atual, o próximo AGV a entrar na estação apenas começa a movimentar-se da sua posição anterior para a posição de ponto de uso, quando o AGV que acabou de ser esvaziado pelo robô passa na saída da estação. Propõe-se que o próximo AGV na estação se comece a movimentar assim que o AGV esvaziado comece a retirar-se do ponto de uso, reduzindo-se o tempo de ciclo ideal de 63,55 segundos para 47,90 segundos (redução de 15,65 segundos), segundo a simulação estática representada na Figura D.8.

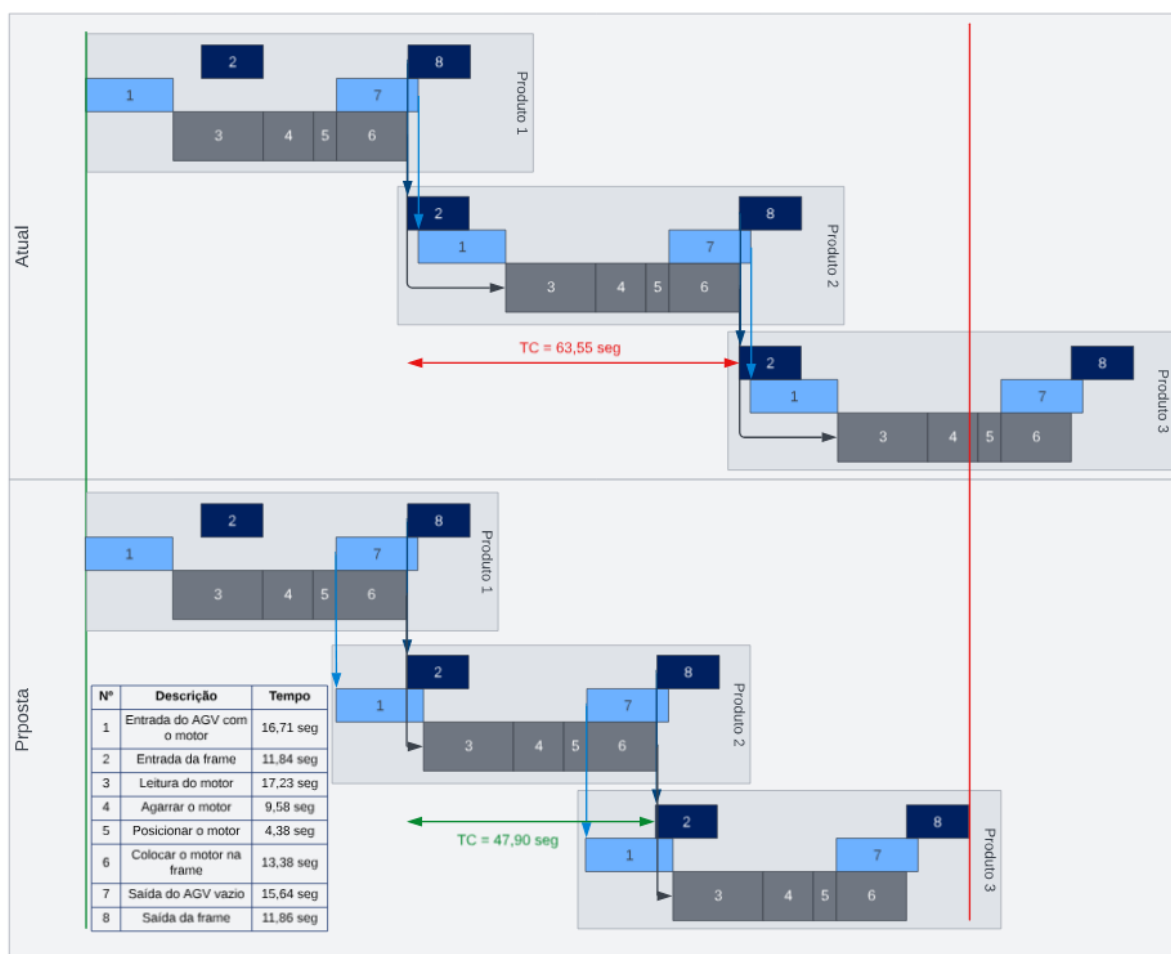


Figura D.8 - PA40: Diagrama de processos da entrada do AGV (atual e proposta)

Tal como a proposta anterior, ao efetuar esta alteração no processo, vai haver uma melhoria no fluxo de AGVs, neste caso da estação ED145 para a PA40, uma vez que a movimentação 15,64 segundos adiantada do AGV a entregar o motor irá libertar uma posição no *buffer*, reduzindo o risco de paragem da Zona ED por se atingir a capacidade máxima do *buffer* de AGVs com motor.

Foram também testadas as propostas 5 e 6 em conjunto (Figura D.9) para se entender qual o ganho no tempo de ciclo da estação PA40 nesse caso.

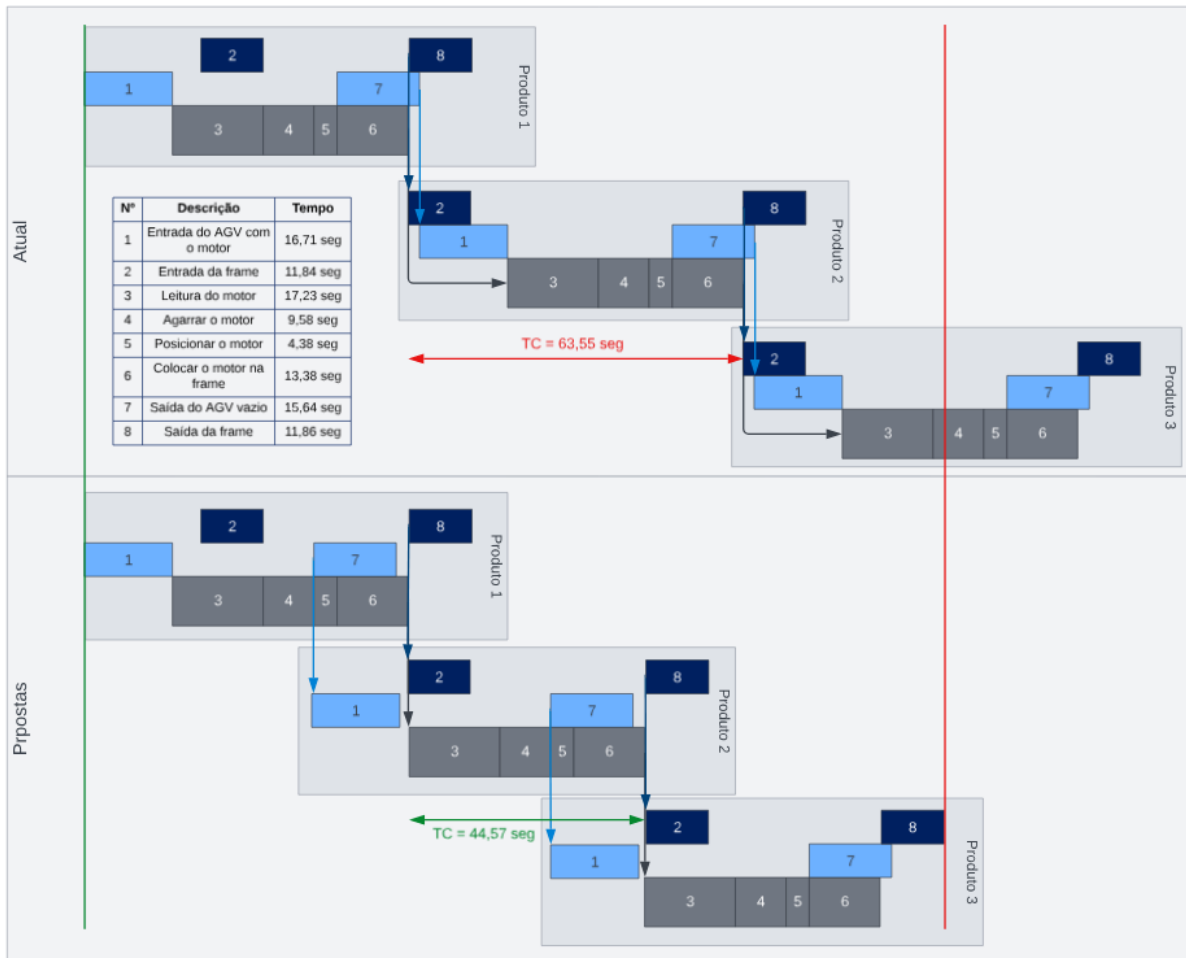


Figura D.9 - Diagrama de processo das propostas 5 e 6 conjuntas (atual e proposta)

Verifica-se que, ao aplicar ambas as propostas, o tempo de ciclo ideal na estação passa de 63,55 segundos para 44,57 segundos, verificando-se uma redução de 18,98 segundos.

### 11. Os operadores das estações de inspeção registarem as reparações efetuadas, que não são registadas no sistema

Não há um registo das reparações efetuadas nas estações ED145 e PA210, quando estas não são apertos de peças, o que não permite efetuar uma análise da totalidade dos defeitos ocorridos. Sugere-se a introdução de uma folha de registos em que constam todas as reparações efetuadas nas estações de inspeção, que não estejam associadas a apertos. A utilização deste registo permitirá o seguimento dos defeitos ocorridos na linha e, potencialmente, encontrar soluções para os mesmos.

Propõe-se que a folha de registo das reparações recolha as seguintes informações: dia; turno (manhã/tarde/noite); turno/equipa (A/B/C/D); hora; sequência; motorização; tipo de

reparação; lado onde foi efetuada a reparação (se aplicável); número de vezes que a reparação foi efetuada no veículo (se aplicável).

Este registo, deverá ser introduzido, pelo *team leader* da equipa, num Excel de reparações no final de cada turno. Com este registo, será possível identificar os defeitos mais frequentes na linha, o local originário do defeito, se o erro foi humano ou de um equipamento e se o defeito está ligado ao tipo de motorização ou ao veículo em concreto.

#### 4. Efetuar o processo até à atividade "Posicionar o motor" quando a *frame* ainda não está na estação PA40

No estado atual, as atividades efetuadas pelo equipamento da estação PA40 encontram-se divididas entre internas e externas consoante o apresentado na Tabela D.2.

Tabela D.2 - PA40: Atividades internas e externas realizadas pelo robô (atual)

Atividade	Tempo	Interna / Externa
Leitura do motor	17,23 seg	Externa
Agarrar o motor	9,58 seg	Interna
Posicionar o motor	4,38 seg	Interna
Colocar o motor na <i>frame</i>	6,82 seg	Interna

Verifica-se que o equipamento da PA40 apenas efetua a atividade "Leitura do motor" se a *frame* ainda não estiver presente na estação. Isto não só torna o processo mais demorado quando a *frame* chega à estação, como mantém o AGV no qual o motor está posicionado ocupado, não permitindo o seu retorno para a Zona *Engine Dress*. Uma representação do que acontece atualmente na estação PA40 e da proposta apresentada encontra-se na Figura D.10.

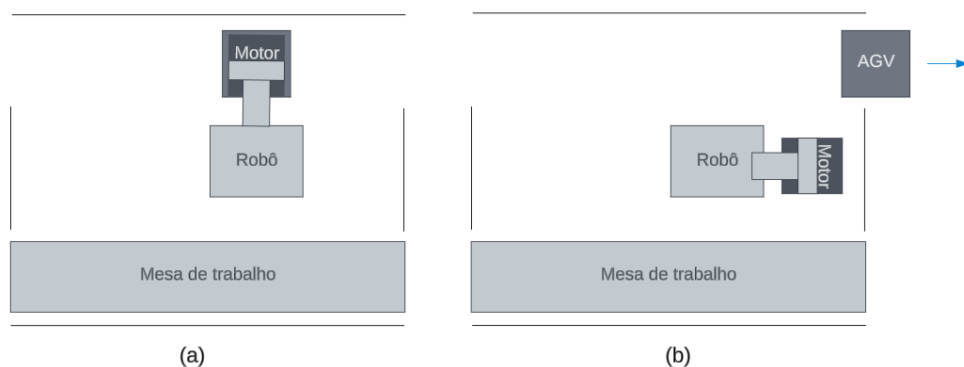


Figura D.10 - PA40: Robô quando a *frame* não está no local

(a) atual, (b) proposta

Verifica-se pela representação do estado atual, que o robô apenas efetua a Leitura do motor, ficando nessa posição à espera que a *frame* chegue à estação para prosseguir com o processo.

A representação da proposta demonstra que o robô efetua, para além da atividade "Leitura do motor", as atividades "Agarrar o motor" e "Posicionar o motor".

Assim, a proposta para esta estação é que o processo seja efetuado até que o equipamento da PA40 tenha posicionado o motor próximo da mesa de trabalho em que a *frame* estará na estação, para que, quando a *frame* chegar, apenas se tenha de colocar o motor na *frame*, atividade que demora cerca de 13,38 segundos. As atividades internas na estação PA40 passam a ser as apresentadas na Tabela D.3.

Tabela D.3 - PA40: Atividades internas e externas do robô (proposta)

Atividade	Tempo	Interna / Externa
Leitura do motor	17,23 seg	Externa
Agarrar o motor	9,58 seg	Externa
Posicionar o motor	4,38 seg	Externa
Colocar o motor na <i>frame</i>	13,38 seg	Interna

Assim, 26,81 segundos do processo podem ser efetuados antes da entrada da *frame* na estação, sendo o tempo correspondente à entrada da *frame* na estação e à colocação do motor na *frame* 25,22 segundos.

Além disso, esta proposta permite a libertação do AGV cerca de 31,19 segundos depois da sua chegada ao seu ponto de uso, uma vez que este começa a retirar-se deste ponto quando o robô termina a atividade "Posicionar o motor". Desta forma, o AGV não ficará retido na estação devido à ausência da *frame* e poderá retornar ao *Engine Dress* para ser novamente utilizado, reduzindo o risco de paragem do *Engine Dress* por falta de AGVs para colocar o motor. Isto permite também a chegada do próximo AGV a entregar o motor, o que reduz o risco de paragem do *Engine Dress* causado pelo preenchimento da capacidade máxima do *buffer* de AGVs com motor. Assim, o fluxo de AGVs entre as duas linhas é também otimizado.



2024

INÊS MARQUES

MTM na Melhoria de uma Linha de Produção *Lean*: Estudo de Caso