



Otimização da produção com base na simulação: Estudo de Caso

RUI MIGUEL GASPAR MATIAS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de
Especialização de Manutenção e Produção

Orientador:
Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Júri:
Presidente: Doutor Pedro Miguel de Abreu e Silva
Vogais:
Doutor Duarte Nuno Caldeira Cordeiro Dinis
Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

novembro de 2024

Otimização da produção com base na simulação: Estudo de Caso

RUI MIGUEL GASPAR MATIAS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de
Especialização de Manutenção e Produção

Orientador:

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes, ISEL/IPL

Júri:

Presidente: Doutor Pedro Miguel de Abreu e Silva, ISEL/IPL

Vogais:

Doutor Duarte Nuno Caldeira Cordeiro Dinis, FCT/UNL

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes, ISEL/IPL

novembro de 2024

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero deixar um agradecimento ao meu orientador, o Professor Vítor Anes, pela disponibilidade, pelos ensinamentos e pelas palavras de ânimo e encorajamento.

Reconheço também o papel essencial da estrutura da FMLP, incluído os colegas de fábrica e de escritório, que contribuíram para a fundamentação desta dissertação. Como representante da empresa e facilitador desta parceria académica deixo o meu agradecimento particular ao Miguel Pereira, pela abertura e pelo espírito de colaboração demonstrados.

Não posso esquecer o companheirismo e a ajuda que recebi dos meus amigos e colegas de curso, o meu obrigado por partilharem esta jornada comigo.

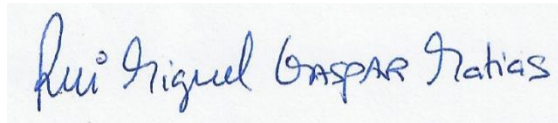
À minha família e amigos agradeço pelo incentivo e por estarem presentes. Uma palavra especial aos meus pais, Célia e Rui, sem eles esta concretização não seria possível. Estou eternamente grato por todos os sacrifícios, pela confiança e pelo amor incondicional.

Reservo ainda umas palavras para a pessoa que me acompanhou desde o primeiro dia, a Rita. Um agradecimento sentido ao meu pilar, pela presença nos melhores, e especialmente nos piores momentos, obrigado pela motivação, pelo amparo e pela paciência.

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor



Rui Miguel Gaspar Matias

Lisboa, 30 de setembro de 2024

Otimização da produção com base na simulação: Estudo de Caso

Resumo

A indústria mundial, contaminada pelas constantes inovações tecnológicas e científicas, tem sofrido ao longo dos tempos transformações, evoluções e revoluções. Esta constante mutação dá-se em resposta às necessidades, cada vez mais exigentes, da sociedade, que despoletam um aumento dos padrões e da exigência das organizações e alimentam o engenho e a arte. Perante este fenómeno desafiante e competitivo torna-se necessária a procura continua da melhoria de processos.

O presente trabalho procura estudar e aperfeiçoar um sistema produtivo de uma indústria metalomecânica através da simulação de eventos discretos. Primeiramente introduz-se e contextualiza-se o ambiente industrial observado, criando bases para o seu estudo e avaliação. É dedicada uma secção à construção de uma *Process Failure Modes and Effects Analysis* (PFMEA), evidenciando a importância da identificação e caracterização de anomalias e desafios nas organizações, no processo de alcançar soluções e melhorias.

Em resposta ao desafios identificados construíram-se 9 propostas de melhoria que, através de metodologias variadas, incidiram sobre os temas da saúde e segurança no trabalho, qualidade, gestão organizacional e produtividade. Nesta sequência foram desenvolvidos e simulados modelos em *ARENA*, que validaram hipóteses de modelos analíticos de balanceamento de linhas e aumentara a eficiência dos processos.

Na fundamentação de propostas de melhoria foram ainda apresentados dois exercícios teóricos de apoio à decisão. Um primeiro que explora a hipótese de implementação de um método de gestão de fluxos de trabalho, *kanban*, e um segundo no âmbito de estudos de viabilidade económica e financeira associados à aquisição de novos equipamentos.

Palavras-chave: Eficiência Produtiva; ARENA; Estudo de Caso; PFMEA;

Simulation-based production optimization: Case study

Abstract

Influenced by constant technological and scientific innovations, the global industry has undergone transformations, evolutions and revolutions over time. This constant mutation occurs in response to the increasingly demanding needs of society. These needs raise the standards and requirements of organisations that foster ingenuity and artistry. Faced with this challenging and competitive phenomenon, it is necessary to constantly seek to improve and optimise processes.

The aim of this thesis is to study and enhance a production system efficiency in a metalworking industry using discrete event simulation. Firstly, the industrial environment under consideration is introduced and contextualised to provide the basis for its study and evaluation. A section is dedicated to the construction of a *Process Failure Modes and Effects Analysis* PFMEA, highlighting the importance of identifying and classifying anomalies and challenges in organisations to achieve solutions and improvements.

In response to the challenges identified, 9 proposals for improvement were constructed, using a variety of methodologies and focusing on health and safety at work, quality, organisational management and productivity. In order to support these proposals, ARENA models were developed and simulated to validate the hypotheses of the analytical models for line balancing and process efficiency improvement.

To support the improvement proposals, two theoretical decision support exercises were also presented. The first examines the hypothesis of implementing a workflow management method, Kanban, and the second examines the economic and financial viability of acquiring new equipment.

Keywords: Production Efficiency; ARENA; Case Study; PFMEA;

Lista de Símbolos e de siglas

Siglas

2D	<i>Duas dimensões</i>
3D	<i>Três dimensões</i>
BoM	<i>Bill of Materials</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CBS	<i>Cyber Physical System</i>
DFMEA	<i>Design Failure Mode and Effects Analysis</i>
EPI	<i>Equipamento de Proteção Individual</i>
EVEF	<i>Estudo de Viabilidade Económica e Financeira</i>
FIFO	<i>First in first out</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
FMLP	<i>Fernando Miguel Lopes Pereira</i>
GASP	<i>General Activity Simulation Program</i>
GPSS	<i>General Purpose Simulation System</i>
IA	<i>Inteligência Artificial</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IRP	<i>Índice de Rendibilidade do Projeto</i>
IRR	<i>Internal Rate of Return</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MIL	<i>Norma militar dos Estados Unidos da América</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
PAN	<i>Process Analyzer</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PEM	<i>Pavilhão de Estruturas Metálicas</i>
PFMEA	<i>Process Failure Mode and Effects Analysis</i>
PME	<i>Micro, pequena e média empresa</i>
PMRI	<i>Prazo Médio de Recuperação do Investimento</i>
PRI	<i>Período de Recuperação do Investimento</i>
PTS	<i>Pavilhão de Tratamentos de Superfície</i>
ROI	<i>Return on Investment</i>
RSE	<i>Responsabilidade social das empresas</i>
SALBP	<i>Simple assembly line balancing problem</i>

<i>SMS</i>	<i>Safety Management System</i>
<i>TIR</i>	<i>Taxa Interna de Rendibilidade</i>
<i>U.M.</i>	<i>Unidades Monetárias</i>
<i>VAL</i>	<i>Valor Atual Líquido</i>
<i>WIP</i>	<i>Work in Process</i>

Alfabeto romano

a_n	Fator de Capitalização
<i>ARR</i>	Accounting Rate of Return
<i>C</i>	Capital
<i>CAD</i>	Cadência da linha
<i>Cc</i>	Capacidade do contentor
CF_t	Cash-Flow no momento t
CFE_t	Cash flow de exploração obtido no final do ano t
CFG_t	Cash flow global obtido no período t
$CFGA_t$	Cash flow na ótica do acionista
CFL_t	Cash flow líquido do projeto
CI_0	Valor atualizado do montante do custo de investimento
C_o	Valor Presente
C_p	Capacidade máxima de produção
Cpk	Índice de capacidade do processo
C_t	Valor Futuro
<i>D</i>	Detetabilidade
<i>De</i>	Taxa de Procura
<i>DTI</i>	Despesas Totais de Investimento ou Capitais Investidos
<i>E</i>	Eficiência
<i>i</i>	Taxa de Juro
I_0	Investimento inicial
I_t	Investimento no momento t
<i>J</i>	Juro
<i>K</i>	Número Real de Postos de Trabalho
<i>k</i>	Taxa de atualização
k_m	Taxa do custo médio ponderado do capital
k_s	Taxa de retorno exigida pelo acionista
<i>LT</i>	Lead Time
<i>MLLM</i>	Meios Libertos Líquidos Anuais Médios
<i>n</i>	Tempo

N_c	Número de Contentores
N_p	Número mínimo de postos de trabalho
NPR	Número de prioridade de risco
O	Ocorrência
$P_{máx}$	Produção máxima diária
$Prod.$	Produção
RPN	Risk Priority Number
S	Severidade
t	Período
t_i	Duração da operação i
T_c	Tempo de Ciclo
$T_{c \text{ gargalo}}$	Tempo de ciclo gargalo
$T_{c \text{ ideal}}$	Tempo de ciclo ideal
$T_{c \text{ praticável}}$	Tempo de ciclo praticável
$T_{n \text{ ciclos}}$	Duração da simulação do modelo com n ciclos
$T_{\text{processo prod.}}$	Duração do processo de produção
TIR	Taxa Interna de Rendibilidade
VR	Valor residual do capital investido

Alfabeto grego

α Stock de Segurança

Índice

1	INTRODUÇÃO	2
1.1	MOTIVAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
1.2	OBJETIVOS	3
1.3	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
2	REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1	SIMULAÇÃO	6
2.1.1	<i>Introdução</i>	6
2.1.2	<i>História/Evolução</i>	6
2.1.3	<i>Estudo do sistema</i>	7
2.1.4	<i>Procedimento de simulação</i>	7
2.1.5	<i>Simulação de Eventos Discretos</i>	9
2.1.6	<i>Vantagens/Razões</i>	9
2.1.7	<i>Aplicações</i>	10
2.2	LINHAS DE PRODUÇÃO	11
2.2.1	<i>Implementação</i>	11
2.2.2	<i>Balanceamento de Linhas de Produção</i>	12
2.2.3	<i>Balanceamento - Procedimento</i>	12
2.3	FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS	16
2.3.1	<i>Introdução</i>	16
2.3.2	<i>Tipos de FMEA</i>	17
2.3.3	<i>Desenvolvimento da FMEA</i>	17
2.3.4	<i>Vantagens e Limitações</i>	24
2.4	SEGURANÇA	26
2.5	ANÁLISE DE INVESTIMENTO	31
2.5.1	<i>Investimento</i>	31
2.5.2	<i>Metodologias de Avaliação da Decisão Investimento</i>	33
3	ESTUDO DE CASO	40
3.1	CONTEXTO	40
3.1.1	<i>A Empresa</i>	40
3.1.2	<i>O Projeto</i>	41
3.1.3	<i>Descrição do produto</i>	42
3.2	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	43
3.2.1	<i>Escritório</i>	44
3.2.2	<i>Pavilhão de Estruturas Metálicas</i>	45
3.3	IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS/DESAFIOS	63
3.3.1	<i>Construção da PFMEA</i>	63

3.3.2	<i>Conclusões Intermédias</i>	65
3.4	ANÁLISE DAS CAUSAS RAIZ DOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS	66
4	PROPOSTA DE MELHORIA	70
4.1	PROCEDIMENTOS – PERDAS POR FALHAS OPERACIONAIS	71
4.1.1.	<i>Proposta 01 - Erro no Concurso</i>	71
4.1.2.	<i>Proposta 02 – Má/Pobre execução das operações</i>	72
4.1.3.	<i>Proposta 03 - Equipamento de EPI's deficiente</i>	73
4.2	FORMAÇÕES – PERDAS DE OPERAÇÃO	74
4.2.1	<i>Proposta 04 - Equipamento de EPI's ignorado ou deficiente</i>	75
4.2.2	<i>Proposta 05 - Acidentes</i>	76
4.3	PLANEAMENTO	79
4.3.1	<i>Proposta 06 - Perdas de Gestão (Ordens de Trabalho)</i>	79
4.3.2	<i>Proposta 07 - Processamento Inapropriado</i>	91
4.4	REESTRUTURAÇÃO	92
4.4.1	<i>Proposta 08 - Movimentação lenta (PTS)</i>	92
4.4.2	<i>Proposta 09 - Avaria de Equipamento (Alto Risco)</i>	98
5	SIMULAÇÃO, VALIDAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	100
5.1	ESTADO ATUAL – MODELO ANALÍTICO	100
5.1.1	<i>Simulação</i>	102
5.1.2	<i>Resultados, Análise e Validação</i>	104
5.1.3	<i>Relatório Final – Simulação do Cenário Real</i>	107
5.2	PROPOSTA 01.1 BALANCEAMENTO DE LINHA 01	108
5.2.1	<i>Plano de Ação</i>	108
5.2.2	<i>Simulação</i>	108
5.2.3	<i>Resultados e Análise</i>	110
5.2.4	<i>Relatório Final – Simulação BL01</i>	111
5.3	PROPOSTA 01.2 BALANCEAMENTO DE LINHA 02	113
5.3.1	<i>Plano de Ação</i>	113
5.3.2	<i>Simulação</i>	113
5.3.3	<i>Resultados e Análise</i>	115
5.3.4	<i>Relatório Final – Simulação BL02</i>	116
5.4	SIMULAÇÕES - EXERCÍCIO COMPARATIVO	118
6	EXERCÍCIOS TEÓRICOS E ANÁLISE DE RESULTADOS	122
6.1	KANBAN.....	122
6.1.1	<i>Localização</i>	123
6.1.2	<i>Forma</i>	124
6.1.3	<i>Dimensionamento – Nº de contentores e capacidade</i>	125
6.2	ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRA.....	128

6.2.1	<i>EVEF X</i>	128
6.2.2	<i>EVEF Y</i>	138
7	CONCLUSÃO	144
7.1	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	149
8	REFERÊNCIAS	151

Índice de figuras

FIGURA 2.1 - FORMAS DE ESTUDAR UM SISTEMA.	7
FIGURA 2.2 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DAS ETAPAS DE UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO.....	8
FIGURA 2.3 - TAXONOMIA DE UM MODELO	8
FIGURA 2.4 - TABELA DE PRECEDÊNCIAS (EXEMPLO)	13
FIGURA 2.5 –DIAGRAMA DE PRECEDÊNCIAS (EXEMPLO).	13
FIGURA 2.6 - RELAÇÃO ENTRE O VAL E A TIR.....	39
FIGURA 3.1 - SEDE DA FERNANDO MIGUEL LOPES PEREIRA & IRMÃO, LDA.....	40
FIGURA 3.2- ESQUEMA EXEMPLIFICATIVO DA PLANTA DA UNIDADE INDUSTRIAL	41
FIGURA 3.3 - PERSPETIVA DIMÉTRICA DE DESENHO 3D DA GUARDA METÁLICA.....	42
FIGURA 3.4 - DETALHES LOCAIS DE FURAÇÃO E ESCAREAMENTO NO TOPO A), E NA BASE B) DA GUARDA METÁLICA.	43
FIGURA 3.5 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO.	44
FIGURA 3.6 - ENTRADA DO PAVILHÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS.....	45
FIGURA 3.7 - SETORES DE TRABALHO - SERRALHARIAS.	46
FIGURA 3.8 - LOCALIZAÇÃO DO SETOR DE CORTE.	48
FIGURA 3.9 - MOLDE DE PRÉ-MONTAGEM.....	53
FIGURA 3.10 - PAVILHÃO DE TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE.....	56
FIGURA 3.11 – LAYOUT DO PTS.....	56
FIGURA 3.12 - REPARTIMENTOS DA ÁREA COMUM.....	57
FIGURA 3.13 - REPARAÇÕES NA CONDUITA DO EQUIPAMENTO DE DECAPAGEM.	69
FIGURA 4.1 - ESQUEMA ELUCIDATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DE TRABALHADORES PELAS ESTAÇÕES DE TRABALHO.	80
FIGURA 4.2 - TABELA DE PRECEDÊNCIAS – CENÁRIO BALANCEADO 01.	83
FIGURA 4.3 - DIAGRAMA DE PRECEDÊNCIAS - CENÁRIO BALANCEADO 01(PRÉ BALANCEAMENTO).....	83
FIGURA 4.4 - DIAGRAMA DE PRECEDÊNCIAS - CENÁRIO BALANCEADO 01 - ETAPA 05.	85
FIGURA 4.5 - DIAGRAMA DE PRECEDÊNCIAS - CENÁRIO BALANCEADO 01 - ETAPA 06.	85
FIGURA 4.6- DIAGRAMA DE PRECEDÊNCIAS - CENÁRIO BALANCEADO 02 – PRÉ-DIVISÃO.....	88
FIGURA 4.7- DIAGRAMA DE PRECEDÊNCIAS - CENÁRIO BALANCEADO 02 – PÓS-DIVISÃO	88
FIGURA 4.8 - DIAGRAMA DE PRECEDÊNCIAS - CENÁRIO BALANCEADO 02 - ETAPA 04 _INICIO.....	89
FIGURA 4.9 - DIAGRAMA DE PRECEDÊNCIAS - CENÁRIO BALANCEADO 02 - ETAPA 04 _FIM.....	89
FIGURA 4.10 - EXERCÍCIO DE CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DA LINHA PRODUTIVA	90
FIGURA 4.11 - SPAGHETTI DIAGRAM - MOVIMENTAÇÕES NO PTS.....	93
FIGURA 4.12 - ZONA SELECIONADA PARA INSTALAÇÃO DA GRUA DE COLUNA ORIENTÁVEL.....	95
FIGURA 4.13 – GRUA DE COLUNA ORIENTÁVEL.....	96
FIGURA 4.14-TROLLEY TIPO CAVALETE	96
FIGURA 4.15 - ÁREA DE ATUAÇÃO PRETENDIDA PARA A PONTE ROLANTE.	97
FIGURA 4.16 – PONTE ROLANTE SELECIONADA.....	97
FIGURA 4.17 – MODELO DO ELEVADOR DE ALCATRUZES PROPOSTO.....	99
FIGURA 5.1 - REPRESENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO EM SOFTWARE ARENA.....	102
FIGURA 5.2 - ASPETO E CONFIGURAÇÃO DE MÓDULO HOLD.	103

FIGURA 5.3 - CONFIGURAÇÃO DE MÓDULO PROCESS COM DISTRIBUIÇÕES SEM ESTOCÁSTICA.....	103
FIGURA 5.4 - CONFIGURAÇÃO DO MODELO DE REPLICAÇÃO DO CENÁRIO REAL. PRODUÇÃO DE 6UN.....	104
FIGURA 5.5 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE REPLICAÇÃO DO CENÁRIO REAL. PRODUÇÃO DE 6 UN.....	104
FIGURA 5.6 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE REPLICAÇÃO DO CENÁRIO REAL. PRODUÇÃO DE 7UN.	106
FIGURA 5.7 - ESQUEMA DE BALANCEAMENTO DE LINHAS 01.....	109
FIGURA 5.8 - ALTERAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DOS MÓDULOS PROCESS. ANTES (ESQUERDA). DEPOIS (DIREITA).....	109
FIGURA 5.9 - CONFIGURAÇÃO DO MODELO DE REPLICAÇÃO DO CENÁRIO BALANCEADO 01. PRODUÇÃO DE 7UN.....	110
FIGURA 5.10 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE REPLICAÇÃO DO CENÁRIO BALANCEADO 01. PRODUÇÃO DE 6UN.	110
FIGURA 5.11 - ESQUEMA DE BALANCEAMENTO DE LINHAS 02.	113
FIGURA 5.12 - ALTERAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DOS MÓDULOS PROCESS. MODIFICAÇÃO DA DURAÇÃO (ESQUERDA). MODIFICAÇÃO DE RECURSOS (DIREITA).....	114
FIGURA 5.13 - CONFIGURAÇÃO DO MODELO DE REPLICAÇÃO DO CENÁRIO BALANCEADO 02. PRODUÇÃO DE 15UN.....	114
FIGURA 5.14 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE REPLICAÇÃO DO CENÁRIO BALANCEADO 02. PRODUÇÃO DE 15UN.	115
FIGURA 5.15 - EXEMPLO DE CONFIGURAÇÃO DE MÓDULO COM DISTRIBUIÇÃO TRIANGULAR.	118
FIGURA 6.1 - ESQUEMA ELUCIDATIVO DAS RELAÇÕES ENTRE OPERAÇÕES DE UM SISTEMA PULL.	122
FIGURA 6.2 - LOCALIZAÇÃO DOS SISTEMAS KANBAN A IMPLEMENTAR.....	123
FIGURA 6.3 – IMAGEM ILUSTRATIVA DE UM QUADRO DE NIVELAMENTO DE PRODUÇÃO.	124
FIGURA 6.4 – IMAGEM ILUCIDATIVA DE UMA ETIQUETA KANBAN.....	125
FIGURA 6.5 – TROLLEY DE MOVIMENTAÇÃO DE ARTIGOS.	125
FIGURA 6.6 – IMAGEM ILUCIDATIVA DE UM CONTENTOR DE SISTEMA KANBAN.	126
FIGURA 6.7 - GRÁFICO COMPARATIVO DE CENÁRIOS. EVOLUÇÃO DO VAL DAS PROPOSTAS. (MOVIMENTAÇÃO LENTA)	138
FIGURA 6.8 - CONDIÇÕES DE ESTUDO DO CENÁRIO PROPOSTO.	142
FIGURA 6.9 - ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRA 5 - CENÁRIO PROPOSTO.....	142
FIGURA 6.10 - GRÁFICO COMPARATIVO DE CENÁRIOS. EVOLUÇÃO DO VAL DAS PROPOSTAS. (AVARIA NO EQUIPAMENTO DE DECAPAGEM)	143

Índice de Tabelas

TABELA 2.1 - HEURÍSTICAS DE BALANCEAMENTO DE LINHAS	14
TABELA 2.2 - TABELA DE SEVERIDADE DFMEA	20
TABELA 2.3 - TABELA DE SEVERIDADE PFMEA.....	20
TABELA 2.4 - OCORRÊNCIA DFMEA	21
TABELA 2.5 - OCORRÊNCIA PFMEA.....	22
TABELA 2.6 - TABELA DE DETETABILIDADE	23
TABELA 3.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ETAPA 1 – DESCARGA	47
TABELA 3.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ETAPA 2 - ARMAZENAMENTO	47
TABELA 3.3 - CARACTERÍSTICAS DO <i>BUFFER</i> 1.	48
<i>TABELA 3.4 - CARACTERÍSTICAS DO BUFFER 2.....</i>	<i>48</i>
TABELA 3.5 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 3 - SETOR DE CORTE I.	49
TABELA 3.6 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 3 - SETOR DE CORTE II.	49
TABELA 3.7 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 3 - SETOR DE CORTE III.	49
TABELA 3.8 - CARACTERÍSTICAS DO BUFFER B1.	50
TABELA 3.9 - CARACTERÍSTICAS DO BUFFER B2.	50
TABELA 3.10 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 4.....	50
TABELA 3.11 - CARACTERÍSTICAS DO BUFFER 3.	51
TABELA 3.12 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 5 - PUNIONAMENTO	51
TABELA 3.13 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 5 - ESCAREAMENTO.....	52
TABELA 3.14 - CARACTERÍSTICAS DO BUFFER 4.....	52
TABELA 3.15 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 6 - SETOR DE PRÉ-MONTAGEM I.	52
TABELA 3.16 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 6 - SETOR DE PRÉ-MONTAGEM II.	53
TABELA 3.17 - CARACTERÍSTICAS DO BUFFER 5.	53
TABELA 3.18 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 7 - SETOR DE SOLDADURA I.	54
TABELA 3.19 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 7 - SETOR DE SOLDADURA II.	54
TABELA 3.20 - CARACTERÍSTICAS DO <i>BUFFER</i> 6.	55
TABELA 3.21 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 8 - SETOR DE CARGAS E DESCARGAS.....	55
TABELA 3.22 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 9 - DESCARGA.	57
TABELA 3.23 - CARACTERÍSTICAS DO REPARTIMENTO 1.	58
TABELA 3.24 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 10 - DECAPAGEM.	58
TABELA 3.25 - CARACTERÍSTICAS DO REPARTIMENTO 2.	59
TABELA 3.26 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 11 - METALIZAÇÃO.	60
TABELA 3.27 - CARACTERÍSTICAS DO REPARTIMENTO 3.	60
TABELA 3.28 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 12 - APLICAÇÃO DE PRIMÁRIO.....	60
TABELA 3.29 - CARACTERÍSTICAS DO REPARTIMENTO 4	61
TABELA 3.30 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 13 - APLICAÇÃO DE TINTA.	61
TABELA 3.31 - CARACTERÍSTICAS DA REPARTIMENTO 5.....	61
TABELA 3.32 - CARACTERÍSTICAS DA ETAPA 14 - CARREGAMENTO E TRANSPORTE.	62

TABELA 3.33 - CATEGORIAS DOS EFEITOS DE MODO DE FALHA.	63
TABELA 3.34 - CÓDIGO DE RISCO TRICOLOR.	63
TABELA 3.35 - CLASSIFICAÇÃO DOS MODOS DE FALHA SEGUNDO O RPN.	63
TABELA 3.36 - PFMEA - PREPARAÇÃO (PARTE 01).	64
TABELA 3.37 - PFMEA - PREPARAÇÃO (PARTE 02).	64
TABELA 3.64 - QUADRO RESUMO DA PFMEA DO CASO EM ESTUDO.	66
TABELA 3.65 – TABELA RESUMO DOS MODOS DE FALHA DE RISCO PREOCUPANTE.	66
TABELA 3.66 - PARCELA DO GRUPO DE MODOS DE FALHA 01.....	67
TABELA 3.67 - PARCELA DO GRUPO DE MODOS DE FALHA 02.....	68
TABELA 3.68 - PARCELA DO GRUPO DE MODOS DE FALHA 03.....	68
TABELA 3.69 - PARCELA DO GRUPO DE MODOS DE FALHA 04.....	68
TABELA 3.70 - PARCELA DO GRUPO DE MODOS DE FALHA 05.....	69
TABELA 4.1 -CLASSIFICAÇÃO DOS MODOS DE FALHA CRÍTICOS.....	70
TABELA 4.2 - MODOS DE FALHA - PROCEDIMENTOS.	71
TABELA 4.3 - MODO DE FALHA - ERRO NO CONCURSO.....	71
TABELA 4.4 - MODO DE FALHA - MÁ EXECUÇÃO DA OPERAÇÃO (PREPARAÇÃO).....	72
TABELA 4.5 - MODO DE FALHA - MÁ EXECUÇÃO DA OPERAÇÃO (PRODUÇÃO).	73
TABELA 4.6 - MODO DE FALHA - EQUIPAMENTO DE EPI’S DEFICIENTE/APRESSADO.	73
TABELA 4.7 - MODOS DE FALHA - FORMAÇÕES.	75
TABELA 4.8 - MODOS DE FALHA - ACIDENTES I.	76
TABELA 4.9 - MODOS DE FALHA - ACIDENTES II.	78
TABELA 4.10 - MODOS DE FALHA - ACIDENTES III.	78
TABELA 4.11 - MODOS DE FALHA - PLANEAMENTO.....	79
TABELA 4.12 - MODO DE FALHA - PERDAS DE GESTÃO.	80
TABELA 4.13 - TABELA RESUMO DA DURAÇÃO DAS OPERAÇÕES DO PROCESSO PRODUTIVO.....	81
TABELA 4.15 - MODO DE FALHA - PERDAS DE GESTÃO II.	91
TABELA 4.16 - MODOS DE FALHA - RESTRUTURAÇÃO.	92
TABELA 4.17- MODO DE FALHA – MOVIMENTAÇÃO LENTA – PAVILHÃO 4.....	93
TABELA 4.18 - DURAÇÃO DAS MOVIMENTAÇÕES NO PTS.....	94
TABELA 4.19 - DURAÇÃO DAS MOVIMENTAÇÕES NECESSÁRIAS PARA A EXECUÇÃO DO TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES DE 14 GUARDAS.....	94
TABELA 4.20 – MODO DE FALHA – AVARIA NO EQUIPAMENTO DE DECAPAGEM.....	98
TABELA 5.1 - FOLHA DE CÁLCULO REPRESENTATIVA DO MODELO ANALÍTICO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	101
TABELA 5.2 - CÁLCULO DO CICLO DE PREPARAÇÃO. CENÁRIO REAL.	105
TABELA 5.3 - RELATÓRIO DE SIMULAÇÃO - CENÁRIO REAL - 6 GUARDAS.	107
TABELA 5.4 - RELATÓRIO DE SIMULAÇÃO - CENÁRIO REAL VS. CENÁRIO BALANCEADO 01. 6 GUARDAS.....	112
TABELA 5.5 - CÁLCULO DO CICLO DE PREPARAÇÃO. CENÁRIO BALANCEADO 02.....	115
TABELA 5.6 - RELATÓRIO DE SIMULAÇÃO - CENÁRIO REAL VS. CENÁRIO BALANCEADO 02. 6 GUARDAS.....	117
TABELA 5.7 - RELATÓRIO COMPARATIVO DE CENÁRIOS SIMULADOS. CENÁRIO REAL.....	119
TABELA 5.8 - RELATÓRIO COMPARATIVO DE CENÁRIOS SIMULADOS. CENÁRIO BALANCEADO 01.....	120

TABELA 5.9 - RELATÓRIO COMPARATIVO DE CENÁRIOS SIMULADOS. CENÁRIO BALANCEADO 02.....	121
TABELA 6.1 – EXIGÊNCIA DIÁRIA AO SISTEMA DE KANBAN A.	126
TABELA 6.2 – QUADRO RESUMO DAS VARIÁVEIS A TRABALHAR NO CÁLCULO DA CAPACIDADE DO SISTEMA DE KANBAN A.	127
TABELA 6.3 – QUADRO RESUMO DAS REFERÊNCIAS DA ESTAÇÃO KANBAN A.	127
TABELA 6.25 - INFORMAÇÕES GERAIS DE OPERAÇÃO DA EMPRESA.....	128
TABELA 6.26 - DURAÇÃO DAS VIAGENS NO CENÁRIO REAL. (ESQUERDA) CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO NO CENÁRIO REAL. (DIREITA).....	130
TABELA 6.27- DURAÇÃO TOTAL DAS VIAGENS DIÁRIAS. CENÁRIO REAL.....	130
TABELA 6.28 - CUSTO DE OPORTUNIDADE PERDIDO EM MOVIMENTAÇÃO. CENÁRIO REAL.....	131
TABELA 6.29 - ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRA 1 - CENÁRIO REAL.....	131
TABELA 6.30 - DURAÇÃO DAS VIAGENS NO CENÁRIO 1. (ESQUERDA) DURAÇÃO DAS VIAGENS NO CENÁRIO 2. (DIREITA) ...	132
TABELA 6.31 – CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO NO CENÁRIO 1. (ESQUERDA) CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO NO CENÁRIO 2. (DIREITA)	132
TABELA 6.32– DURAÇÃO TOTAL DAS VIAGENS DIÁRIAS NO CENÁRIO 1. (ESQUERDA) DURAÇÃO TOTAL DAS VIAGENS DIÁRIAS NO CENÁRIO 2. (DIREITA).....	133
TABELA 6.33 – DURAÇÃO TOTAL DAS OPERAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS. CENÁRIO 1 (ESQUERDA). CENÁRIO 2 (DIREITA). .	133
TABELA 6.34 – CUSTOS DE OPORTUNIDADE ANUAL. CENÁRIO 1 (ESQUERDA). CENÁRIO 2 (DIREITA).	134
TABELA 6.35 - CUSTO DE OPORTUNIDADE PERDIDO EM COLABORADORES DESLOCADOS.....	134
TABELA 6.36 – CUSTOS DE OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS. CENÁRIO 1 (ESQUERDA). CENÁRIO 2 (DIREITA).	134
TABELA 6.37 – INVESTIMENTOS INICIAIS. CENÁRIO 1 (ESQUERDA). CENÁRIO 2 (DIREITA).	135
TABELA 6.38 - CONDIÇÕES DE ESTUDO DO CENÁRIO 1.....	135
TABELA 6.39 - ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRA 2 - CENÁRIO 1.....	136
TABELA 6.40 - CONDIÇÕES DE ESTUDO DO CENÁRIO 2.....	136
TABELA 6.41 - ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRA 3 - CENÁRIO 2.....	137
TABELA 6.42 - INFORMAÇÕES DE OPERAÇÃO DO PROCESSO DE DECAPAGEM. CENÁRIO ATUAL (ESQUERDA). CENÁRIO PROPOSTO (DIREITA).	139
TABELA 6.43 - RECEBIMENTOS DA OPERAÇÃO DE DECAPAGEM. CENÁRIO ATUAL (ESQUERDA). CENÁRIO PROPOSTO (DIREITA).	139
TABELA 6.44 - CUSTOS DA OPERAÇÃO DE DECAPAGEM. CENÁRIO ATUAL (ESQUERDA). CENÁRIO PROPOSTO (DIREITA).....	139
TABELA 6.45 – CUSTOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA DE DECAPAGEM. CENÁRIO ATUAL (ESQUERDA). CENÁRIO PROPOSTO (DIREITA).....	140
TABELA 6.46 – MOVIMENTOS FINANCEIROS DA OPERAÇÃO DE DECAPAGEM. CENÁRIO ATUAL (ESQUERDA). CENÁRIO PROPOSTO (DIREITA).	140
TABELA 6.47 - CONDIÇÕES DE ESTUDO DO CENÁRIO ATUAL.....	141
TABELA 6.48 - ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRA 4 - CENÁRIO ATUAL.....	141

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da sua existência, que o Homem, através da sua capacidade de interpretar o mundo que o rodeia e entender a natureza dos materiais que o compõem, utiliza as suas habilidades técnicas para transformar materiais naturais brutos em bens úteis que satisfaçam as suas necessidades. Esse ímpeto transformador acompanhou o ser humano ao longo do seu processo de evolução, perdendo progressivamente o foco no proveito próprio dos bens, transitando para um propósito mais coletivo e comercial.

Durante um longo período da história foi aceitável definir indústria no sentido lato do termo, como uma atividade que transforma matérias-primas em produtos acabados/semiacabados. Esta definição mudou a par do panorama mundial no final do século XVIII, com o nascimento da revolução industrial sustentada pela máquina a vapor, o ferro e o carvão e motivada pelo crescimento dos mercados e pelas necessidades crescentes de produção.

Atualmente indústria é um termo mais complexo de definir, e a principal justificação para isso é o facto de a indústria ser cada vez mais complexa em si mesma. Nos dias que correm presenciamos a quarta revolução industrial, também chamada de Indústria 4.0. Este fenómeno alimentou-se das décadas de evolução e desenvolvimento de campos como a automação industrial, a computação digital e as telecomunicações e catapultou a indústria para um meio repleto de novas e revolucionárias tecnologias entre as quais os sistemas ciberfísicos (CPS), Internet of Things (IoT), computação em nuvem (Cloud), simulação computacional, Inteligência Artificial (IA) entre outros.

Perante um mercado global mais competitivo que nunca, as empresas são obrigadas a definir estratégias adaptadas a este novo paradigma, privilegiando a eficiência, a sustentabilidade e a produtividade.

A presente dissertação resulta da realização de um estudo de caso ao processo produtivo de uma empresa nacional do ramo da metalomecânica, com o propósito de o melhorar por via de simulação computacional. Para tal foram construídos modelos matemáticos, e simulados com recurso à ferramenta ARENA, que se mostrou uma ferramenta eficaz permitindo prever consequências de decisões de gestão sem necessidade de intervenções físicas nem de investimentos substanciais.

1.1 Motivação e Contextualização da Dissertação

A escolha do tema desta dissertação surge de uma proposta para analisar e tratar dados de artigos científicos envolvendo sistemas produtivos, e trabalhar em hipóteses de melhoria recorrendo à simulação.

A proximidade a uma indústria metalomecânica despertou a possibilidade de interligar o percurso académico com o profissional e motivou a adaptação do tema previsto para um caso de estudo “presencial”.

O caso de estudo selecionado corresponde ao processo de fabrico de um modelo de guardas metálicas integrante de uma empreitada de execução e fornecimento de serralharias por parte da FMLP & Irmão, Lda. ao cliente final.

1.2 Objetivos

O presente trabalho propõe-se a desenvolver e testar ações de melhoria visando aumentar a eficiência do sistema de produção apresentado no caso de estudo. Com o propósito de alcançar este objetivo é necessário cumprir os seguintes objetivos elementares:

- a) Acompanhamento e análise do processo real;
- b) Recolha e registo de dados/informação relevante, incluindo recolha de testemunhos, consulta de históricos e documentação existente e medições no local;
- c) Tratamento e organização de dados para construção de modelo analítico;
- d) Identificação de limitações/desafios do sistema bem como desperdícios e ineficiências;
- e) Avaliação e análise limitações/desafios identificados utilizando a ferramenta *Process Failure Modes and Effects Analysis* (PFMEA);
- f) Desenvolvimento de propostas de melhoria;
- g) Validação de propostas com recurso à simulação ARENA. Comparação do estado atual com as sugestões de melhoria.

1.3 Organização da Dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos e diversos subcapítulos, estes seguem a seguinte organização:

1. Introdução – O primeiro capítulo introduz e faz uma contextualização do tópico trabalhado. Neste são ainda apresentadas as motivações que contribuíram para a tomada de decisão relativamente ao tema abordado assim como os objetivos propostos na dissertação. Termina com um esclarecimento quanto à organização do documento;

2. Revisão de Literatura – Neste capítulo são apresentados os principais tópicos a explorar na dissertação na forma de subcapítulos que retratam cada tema com fundamentação de literatura científica. Estes subcapítulos compilam o estado da arte de cada uma das cinco temáticas abordadas, são elas:

- 2.1. Simulação;
- 2.2. Linhas de produção;
- 2.3. PFMEA;
- 2.4. Segurança;
- 2.5. Análise de Investimento.

3. Estudo de Caso – No terceiro capítulo é primeiramente contextualizado o estudo de caso e de seguida é apresentada uma descrição pormenorizada do processo produtivo em estudo. Numa segunda parte, este capítulo aborda a identificação das/os limitações/desafios do processo, a construção de uma PFMEA e a análise das causas raiz dos modos de falha identificados.

4. Propostas de Melhoria – O capítulo 4 incide individualmente sobre as 9 propostas de melhoria sugeridas. As propostas estão categorizadas por causa raiz, constituindo cada categoria um subcapítulo, são elas:

- 4.1. Procedimentos – Perdas por falhas operacionais;
- 4.2. Formações – Perdas de operação;
- 4.3. Planeamento – Perdas de gestão;
- 4.4. Restruturações.

5. Simulação - Validação e Análise de Resultados – O quinto capítulo divide-se em quatro subcapítulos. O primeiro descreve a construção, simulação e validação do modelo analítico proposto. O segundo e o terceiro capítulos, apresentam a construção e simulação dos modelos em ARENA que replicam as propostas de balanceamento de linha 01 e 02 respetivamente. O quarto subcapítulo remete para um exercício de

comparação de resultados das simulações das sugestões de melhoria com estado atual, com e sem estocástica.

6. Exercícios Teóricos e Análise de Resultados – O sexto capítulo apresenta três exercícios teóricos, um relativo à caracterização e dimensionamento de um sistema Kanban que se propõe a responder à proposta do subcapítulo 4.3.2, e dois estudos de viabilidade económica e financeira que se propõem a responder às duas hipóteses sugeridas no Capítulo 4.4 relativas a estruturações.

7. Conclusão – O sétimo e último capítulo apresentam-se as principais conclusões do trabalho realizado bem como as perspetivas de melhoria futura.

2 Revisão da Literatura

2.1 Simulação

2.1.1 Introdução

No seu sentido mais lato, a simulação é uma ferramenta para avaliar o desempenho de um sistema, existente ou proposto, sob diferentes configurações de interesse e durante longos períodos temporais (Andradottir et al., 1997). Em simulação um modelo matemático ou lógico de um sistema pode ser utilizado para experimentação com a intenção de obter informações sobre o comportamento do sistema (Olson, 2003).

A simulação é uma ferramenta quantitativa que se tem revelado muito útil na análise de muitos domínios que envolvem complexidade e incerteza. Na última década, a dinâmica de sistemas, a simulação de eventos discretos e outras formas de análise de simulação foram aplicadas à avaliação e melhoria dos processos de software (Olson, 2003).

2.1.2 História/Evolução

Na década de quarenta foi quando surgiram as primeiras linguagens de programação, onde a simulação era considerada inviável, pois só os profissionais com formação nessa área tinham capacidade para desenvolver e compreender os resultados obtidos a partir dos modelos de simulação (Paiva, 2005). Segundo Hollocks (2005), a origem da simulação a eventos discretos iniciou-se nos últimos anos da década de 50. Foi já na década de sessenta que começaram a aparecer as linguagens mais específicas para a simulação, como por exemplo a GPSS e a GASP e predominava o paradigma de simulação orientado a eventos (Dias, 2005).

No final da década de noventa, a simulação de eventos discretos estava em declínio à data em que as indústrias transformadoras mundiais estavam a passar por mudanças radicais (Bossel, 1994). Na busca pelo melhor resultado do processo industrial, junto a necessidade de reduzir o custo dos investimentos, a utilização da simulação foi estimulada nas empresas modernas (Alexandre et al., 2018). Esta motivação associada ao facto de os computadores poderem processar com rapidez e precisão qualquer formulação matemática ou lógica em combinações arbitrárias alargou a aplicabilidade da modelação e da simulação a tudo o que possa ser formalizado e computável, sob qualquer forma (Bossel, 1994).

2.1.3 Estudo do sistema

A *Figura 2.1* ilustra as formas de estudo de um sistema. Na maioria das vezes, o sistema é estudado através de uma experiência com um modelo real ou de uma experiência com um modelo do sistema real (Babulak & Wang, 2010a).

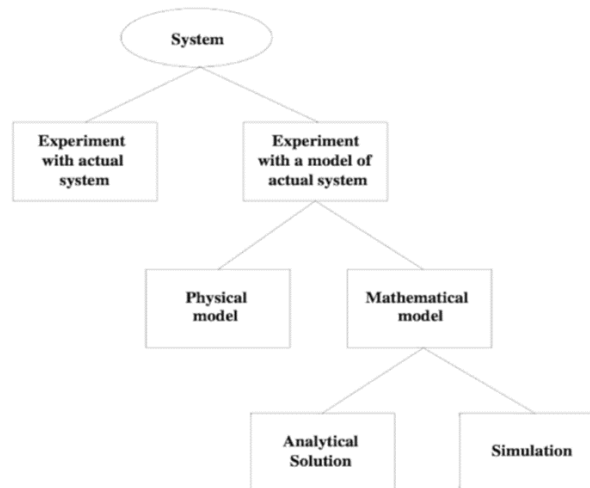


Figura 2.1 - Formas de estudar um sistema. (Babulak & Wang, 2010a)

De acordo com o esquema apresentado anteriormente, um sistema estudado através da experimentação de um modelo pode ser abordado de duas formas distintas. Pode ser construído um modelo físico do sistema, integral ou parcial, ou, em alternativa, pode ser criado um modelo matemático com mesmo. Optando pela segunda opção pode ainda estudar-se o sistema via analítica ou através da simulação, fazendo uso de softwares.

2.1.4 Procedimento de simulação

A *Figura 2.2* consiste num esquema que reflete o processo cíclico de um estudo de simulação. A natureza iterativa do processo é indicada pelo facto de o sistema em estudo se tornar o sistema alterado que, por sua vez, se torna o sistema em estudo e o ciclo repete-se. Num estudo de simulação, a tomada de decisões humanas é necessária em todas as fases, nomeadamente, no desenvolvimento do modelo, na conceção da experiência, na análise dos resultados, na formulação de conclusões e na tomada de decisões para alterar o sistema em estudo. A única fase em que não é necessária a intervenção humana é a execução das simulações, que a maioria dos pacotes de software de simulação efetua de forma eficiente (Andradottir et al., 1997).

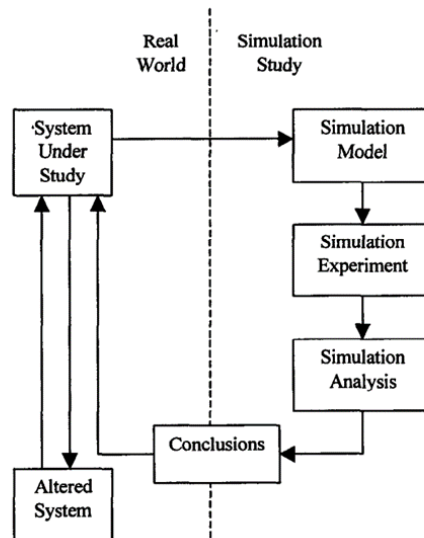


Figura 2.2 - Esquema ilustrativo das etapas de um estudo de simulação (Andradottir et al., 1997).

As etapas envolvidas no desenvolvimento de um modelo de simulação, na concepção de uma experiência de simulação e na realização de uma análise de simulação são 11, estado estas descritas abaixo:

- Etapa 1. Identificar o problema.
- Etapa 2. Formular o problema.
- Etapa 3. Recolher e processar dados reais do sistema
- Etapa 4. Formular e desenvolver um modelo.

Existem diversos modelos matemáticos que refletem as diferentes abordagens ao estudo de um sistema. A *Figura 2.3* ilustra a taxonomia dos modelos utilizados no processo de simulação.

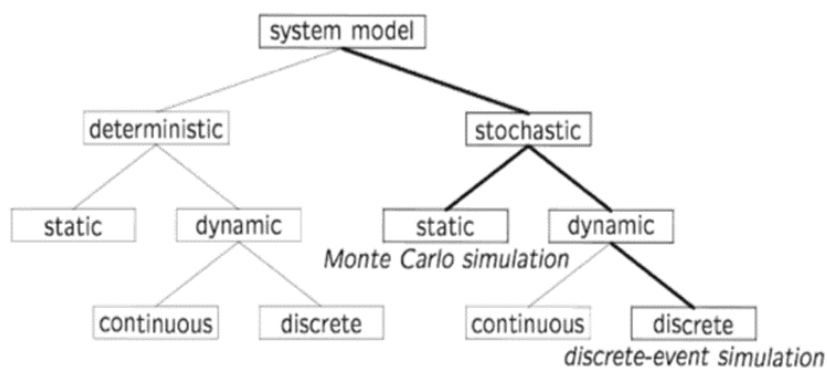


Figura 2.3 - Taxonomia de um modelo (Babulak & Wang, 2010b).

As classificações dos modelos matemáticos incluem o modelo determinístico (as variáveis de entrada e de saída têm valores fixos) ou estocástico (pelo menos uma das variáveis de

entrada ou de saída é probabilística); estático (o tempo não é tido em conta) ou dinâmico (são tidas em conta as interações entre as variáveis que variam com o tempo). Normalmente, os modelos de simulação são estocásticos e dinâmicos (Andradottir et al., 1997).

Etapa 5. Validar o modelo.

Etapa 6. Documentar o modelo para utilização futura.

Etapa 7. Selecionar a conceção experimental adequada.

Etapa 8. Estabelecer as condições experimentais para os ensaios.

Etapa 9. Efetuar as simulações,

Etapa 10. Interpretar e apresentar os resultados.

Etapa 11. Recomendar novas ações (Andradottir et al., 1997).

2.1.5 Simulação de Eventos Discretos

A simulação de eventos discretos é uma simulação em que o sistema muda instantaneamente em resposta a certos eventos discretos. Esta é menos detalhada (mais grosseira na sua unidade de tempo mais pequena) do que a simulação contínua, mas é muito mais simples de implementar e, por conseguinte, é utilizada numa grande variedade de situações (Andradottir et al., 1997).

A simulação de eventos discretos representa modelagem, simulação e análise de sistemas utilizando as técnicas computacionais e matemáticas, enquanto cria um modelo que constitui um quadro concetual que descreve o sistema, sendo uma forma de simulação orientada em torno do tempo de eventos específicos, especialmente apropriada para sistemas que envolvem filas de espera (Babulak & Wang, 2010a; Olson, 2003).

2.1.6 Vantagens/Razões

A representação do comportamento através de simulações por computacionais substituiu quase todos os outros métodos que anteriormente desempenhavam um papel (por exemplo, análogos hidráulicos, elétricos ou mecânicos). As razões são (Bossel, 1994)(Andradottir et al., 1997)

1. O facto de o computador poder seguir a multiplicidade de implicações de relações complexas e as suas consequências dinâmicas de forma muito mais fiável do que a mente humana.
2. Independentemente do tipo de sistema considerado, as simulações em computador permitem a utilização de uma metodologia comum e de programas de software de aplicação geral.

3. Os custos de construção do modelo e da simulação são normalmente apenas uma fração dos custos dos modelos físicos reais ou analógicos.
4. Permite testar a viabilidade de hipóteses sobre o sistema. Comprimir o tempo para observar certos fenómenos durante longos períodos ou expandir o tempo para observar um fenómeno complexo em pormenor. Permite também determinar o impacto a longo prazo das alterações de processos
5. A dinâmica que levaria à destruição do sistema real não tem consequências no modelo computacional: o programa de simulação pode ser utilizado vezes sem conta.
6. Não existe qualquer risco para o sistema real. Não são necessárias medições que possam interferir com os processos do sistema real.
7. Permite identificar estrangulamentos no fluxo de entidades (materiais, pessoas, etc.) ou de informação. Utilizar várias métricas de desempenho para analisar as configurações do sistema.
8. Permite identificar as variáveis "motrizes" - aquelas a que as medidas de desempenho são mais sensíveis - e as inter-relações entre elas. Testar ideias diferentes nas mesmas circunstâncias. Permite testar repetidamente o mesmo sistema com diferentes entradas, assegurando que quaisquer alterações aos processos foram exaustivamente testadas.
9. Melhorar a comunicação com as partes interessadas e criar adesão. Uma vez que a simulação é visual e animada, permite-lhe demonstrar claramente os benefícios das propostas de melhoria de processos a terceiros.

2.1.7 Aplicações

Os modelos de simulação são úteis em muitos domínios e quase todos os dias são descobertas novas aplicações. Os modelos de simulação desempenham atualmente um papel muito significativo em (Bossel, 1994):

1. Compreensão científica
2. Desenvolvimento de sistemas em tecnologia
3. Gestão de sistemas
4. Planeamento do desenvolvimento.

2.2 Linhas de Produção

Uma linha de montagem é um sistema de produção de fluxo onde as unidades produtivas que executam as operações, denominadas de postos de trabalho, estão alinhadas em série (Boysen et al., 2008).

2.2.1 Implementação

Segundo (Sarker & Pan, 1998) há questões que devem ser resolvidas para construir e utilizar uma linha de montagem. Estas questões são: (1) determinação do número de estações na linha; (2) determinação do tempo de ciclo da linha; (3) sequenciação dos modelos, ou seja, determinação da ordem dos modelos para maximizar a utilização dos operadores na linha de montagem; e (4) o balanceamento da linha, ou seja, o equilíbrio das atribuições de trabalho entre os operadores e a minimização o número de operadores necessários.

Seguindo o procedimento recomendado descrevem-se abaixo as terminologias e conceitos que compõem o exercício acima referido.

Tempo de ciclo (T_c) é o tempo entre partes (peças, unidades ou clientes atendidos) consecutivas que um sistema de operações consegue produzir ou servir. Este é definido pelo mais lento dos processos ou etapas. Este processo é frequente chamado de estrangulamento ou *bottleneck* (Paulo Pinto, 2023).

Por outro lado, o *takt time* (também ele um tempo de ciclo, mas neste caso definido pelo consumo), resulta do seguinte cálculo:

$$Takt\ Time = \frac{\text{tempo disponível}}{\text{procura nesse período}} \quad (2.1)$$

O *takt time* considera perdas e paragens nos processos. Se num dado “período de tempo disponível” (ex. um turno ou uma semana) a procura variar, então o *takt time* também varia (Paulo Pinto, 2023).

O tempo necessário para produzir uma peça desde o início da linha até ao fim da sua produção designa-se de *lead time* (LT), calculado da seguinte forma:

$$LT = \sum t_i \quad (2.2)$$

t_i – Duração da operação i ($i=1\dots n$);

O número mínimo de postos de trabalho (N_p) para a execução das tarefas de processamento associadas à linha é dado pela seguinte equação:

$$N_p = \frac{LT}{T_c} \quad (2.3)$$

(Sarker & Pan, 1998) defendem que outro indicador importante de uma linha de produção é a capacidade máxima de produção (C_p), que mostra o número máximo de peças que a linha pode produzir.

$$C_p = \frac{\text{tempo disponível}}{T_c} \quad (2.4)$$

2.2.2 Balanceamento de Linhas de Produção

O balanceamento de linhas, a quarta etapa descrita por (Sarker & Pan, 1998), corresponde à distribuição de atividades sequenciais por postos de trabalho, de modo a permitir uma elevada utilização de trabalho e de equipamentos, minimizando o tempo em vazio.

Segundo (Becker & Scholl, 2006) qualquer tipo de problema de balanceamento de linha de produção consiste em encontrar um equilíbrio de linha viável, ou seja, uma atribuição de cada tarefa para exatamente uma estação de modo que as restrições de precedência e possivelmente outras restrições sejam respeitadas. O objetivo é encontrar um tempo de ciclo e um número de estações, bem como uma atribuição de tarefa correspondente que minimiza a soma dos tempos ociosos em todas as estações (Scholl & Voss, 1997). Assim, existem as seguintes variantes de problemas de balanceamento de linhas de montagem simples (SALBP - *simple assembly line balancing problem*):

- SALBP-1: Dado o tempo de ciclo T_c , minimizar o número de estações.
- SALBP-2: Dado o número de estações, minimizar o tempo de ciclo T_c .

2.2.3 Balanceamento - Procedimento

Num processo de balanceamento é necessário conhecer todas as atividades do processo e construir o diagrama de precedências, onde os números rodeados de um círculo representam tarefas individuais, enquanto as setas entre os mesmos indicam a relação de precedência, pois as tarefas devem seguir uma determinada ordem de execução. O tempo de cada tarefa pode ser obtido por vários métodos, tal como a crono-análise que é um dos mais conhecidos. Fazendo a soma de todos os tempos das tarefas de um certo posto de trabalho obtêm-se o tempo total do posto (Boysen et al., 2007).

Para a aplicação da técnica de balanceamento, é necessário antes conhecer alguns elementos indispensáveis para a medição dos tempos necessários, bem como os indicadores de desempenho associados.

A importância dos indicadores de desempenho passa pela necessidade de comparação e medição dos resultados conseguidos antes e depois da aplicação do balanceamento (Roldão & Ribeiro, 2007). Deste modo descrevem-se as etapas do balanceamento:

Etapa 1 – Relacionar sequencialmente as tarefas.

Especificação de todas as relações sequenciais entre tarefas, atribuindo a cada uma delas os seus tempos elementares de duração. A representação das relações descritas faz-se através da construção de uma tabela de precedências, Figura 2.4.

Atividade Nº	Descrição	Predecessora	Duração (sem.)
A	Projetos (Engenharia)	-	2
B	Fundações	A	4
C	Alvenaria	B	4
D	Esgotos	B	5
E	Telhado	C	5
F	Piso	D	2
G	Instalações elétricas	E	3
H	Instalações hidráulicas	E	4
I	Reboco	G, H	15
J	Pintura	I	10
K	Limpeza	J	2

Figura 2.4 - Tabela de precedências (exemplo) (*Planeamento de Projetos - LinkedIn*, n.d.)

Finalizada a tabela de precedências deve ser construído um diagrama de precedências, Figura 2.5.

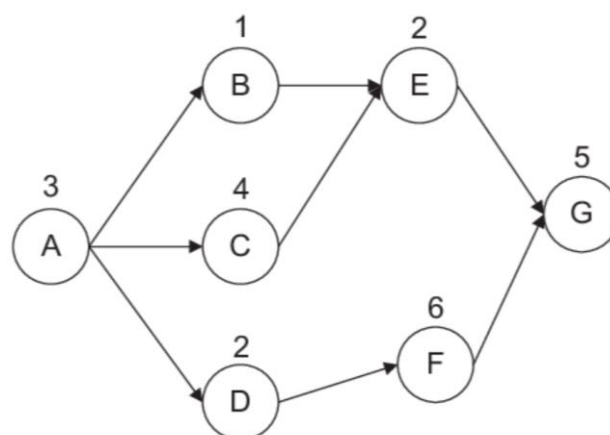


Figura 2.5 –Diagrama de precedências (exemplo). Fonte: https://www.researchgate.net/figure/A-precedence-diagram_fig2_262580262

Etapa 2 – Calcular o tempo de ciclo (T_c).

Determinação do tempo de ciclo da linha, contabilizando o intervalo de tempo entre duas unidades sucessivas à saída da linha produtiva.

$$T_c = \frac{\text{tempo produtivo disponível}}{\text{produção necessária}} \quad (2.5)$$

Etapa 3 – Calcular o número teórico mínimo de postos (N_p).

Determinação do número teórico mínimo de postos de trabalho. Esta variável estabelece o número de postos de trabalho necessários para satisfazer o tempo de ciclo imposto pelas exigências de produção. Do desenvolvimento da equação 3 resulta:

$$N_p = \frac{\text{Soma dos tempos das tarefas}}{\text{Tempo de ciclo}} = \frac{\sum t_i}{T_c} = \frac{LT}{T_c} \quad (2.3)$$

Etapa 4 – Seleção da regra principal Heurística.

Seleção da regra heurística a utilizar no processo de atribuição de atividades a postos de trabalho. A *Tabela 2.1* apresenta as heurísticas a selecionar consoante o cenário de interesse.

Tabela 2.1 - Heurísticas de balanceamento de linhas.

Heurísticas		
1	Operação com maior tempo de execução	Têm prioridade as operações com maior tempo de execução
2	Operação com maior número de operações seguintes	Têm prioridade as operações com maior tempo de execução
3	Caminho mais longo	Têm prioridade as operações que apresentem, para um conjunto das operações seguintes, maior tempo total de execução
4	Operação com menor tempo de execução	Têm prioridade as operações com menor tempo de execução
5	Operações com menor número de operações	Têm prioridade as operações com menor tempo de execução

Etapa 5 – Associação de tarefas.

Associação de tarefas, uma a uma, ao posto de trabalho até que a soma dos tempos das tarefas seja igual ao tempo de ciclo ou até que não seja possível incluir outras tarefas devido ao limite de tempo ou de sequência das tarefas.

$$\left(\sum t_i \right)_{PT} \leq T_c \quad (2.6)$$

$(\sum t_i)_{PT}$ – Soma dos tempos das tarefas de um Posto de Trabalho

Etapa 6 – Avaliação da eficiência (E) da linha balanceada.

A determinação da eficiência da linha é feita através da equação (7).

$$E = \frac{\sum t_i}{N^{\circ} \text{ Real de Postos de Trabalho} \times \text{Tempo de Ciclo}} = \frac{LT}{K \times T_c} \quad (2.7)$$

A finalidade do exercício de balanceamento de linha de produção é minimizar as discrepâncias nos tempos de trabalho de cada operador. Para que tal seja possível é necessário que o processo seja dividido em várias operações elementares de trabalho e que estas sejam atribuídas aos postos de trabalho de uma forma igual em termos de duração. O posto de trabalho que possui o maior tempo de execução é considerado o “posto 100%” e é este posto que limita a saída do produto na linha de produção, o denominado posto gargalo. Na ótica de um gestor da produção é essencial controlar estes postos de trabalho pois é a eles que estão associadas as atividades críticas que tem consequências diretas no processo.

2.3 Failure Modes and Effects Analysis

2.3.1 Introdução

Devido ao compromisso de uma empresa em melhorar continuamente os seus produtos, é importante o uso da ferramenta Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) como uma técnica disciplinada para identificar e ajudar a eliminar problemas potenciais (Moura, C. 2000).

A FMEA é uma metodologia de engenharia concebida para identificar potenciais modos de falha e as suas causas, avaliando os seus impactos num determinado sistema. Um modo de falha é normalmente definido como uma variação nos critérios de desempenho de um componente (incapacidade de desempenhar a função projetada). O método FMEA identifica as decisões necessárias para evitar falhas individuais do sistema (Salah et al., 2017).

Uma FMEA de projeto é uma técnica analítica utilizada por um engenheiro ou equipa responsável pelo projeto com a finalidade de assegurar que, na extensão possível, os modos de falha potenciais e suas causas/mecanismos associados foram considerados e analisados. Nesta metodologia devem ser avaliados os produtos finais, subsistemas, componentes e sistemas relacionados. De uma forma mais precisa, uma FMEA é um resumo dos pensamentos da equipa de como um componente, subsistema ou sistema é projetado (incluindo uma análise dos itens que poderiam falhar baseados na experiência e nos problemas passados). Esta abordagem sistemática acompanha, formaliza e documenta a linha de pensamento que é normalmente percorrida durante o desenvolvimento de um projeto (Moura, C. 2000).

A FMEA de projeto dá suporte ao desenvolvimento do projeto reduzindo os riscos de falhas, por (C. Moura Fev./2000):

- Auxiliar na avaliação objetiva dos requisitos do projeto e das soluções alternativas.
- Considerar os requisitos de manufatura e montagem no projeto inicial.
- Aumentar a probabilidade de que os modos de falha potenciais e seus efeitos nos sistemas e na operação do produto tenham sido considerados no processo de desenvolvimento/projeto.
- Proporcionar informações adicionais para ajudar no planeamento de programas de desenvolvimento e de ensaios de projeto eficientes e completos.
- Desenvolver uma lista de modos de falhas potenciais classificadas de acordo com os seus efeitos no cliente, estabelecendo assim um sistema de priorização para melhorias do projeto e ensaios de desenvolvimento.

- Proporcionar uma forma de documentação aberta para recomendar e rastrear ações de redução de risco.
- Proporcionar referências para no futuro ajudar na análise de problemas de campo, na avaliação de alterações de projeto e no desenvolvimento de projetos avançados.

2.3.2 Tipos de FMEA

Existem várias tipologias de FMEA dependendo do contexto em que são aplicadas. A FMEA pode ser (*Failure Mode and Effects Analysis*, 2023):

- Funcional: antes de serem apresentadas soluções de concepção, as funções podem ser avaliadas quanto aos potenciais efeitos de falhas funcionais. Podem ser propostas atenuações gerais para limitar as consequências das falhas funcionais ou a probabilidade de ocorrência nesta fase inicial do desenvolvimento. Baseia-se na decomposição funcional de um sistema, sendo bastante utilizada para a avaliação do software.

- Design conceptual / hardware: análise de sistemas ou subsistemas nas fases iniciais da concepção do conceito para analisar os mecanismos de falha e as falhas funcionais de nível inferior, especialmente para diferentes soluções conceituais de forma mais pormenorizada. Pode ser utilizada em estudos de compromisso.

- Design pormenorizado / hardware: análise de produtos antes da produção. Estas são as FMEAs mais pormenorizadas (na norma MIL 1629 designadas por FMEA de peça ou de hardware) e são utilizadas para identificar qualquer possível modo de falha de hardware (ou outro) até ao nível mais baixo da peça. Deve basear-se na repartição do hardware (por exemplo, a BoM = lista de materiais). A gravidade dos efeitos da falha, a prevenção (atenuação) da falha, a deteção e o diagnóstico da falha podem ser analisados na íntegra nesta FMEA.

- Processo: análise dos processos de fabrico e montagem. Tanto a qualidade como a fiabilidade podem ser afetadas por falhas no processo. O input para esta FMEA é, entre outros, um processo de trabalho/desdobramento de tarefas.

2.3.3 Desenvolvimento da FMEA

Na literatura verificam-se diferenças nos procedimentos de construção da PFMEA (FMEA de Processo) e da DFMEA (FMEA de Projeto) apesar de possuírem abordagens semelhantes. No documento "FMEA - Manual de Referência" de (Moura, C. 2000) apresentam-se vinte e duas etapas sequenciais que constituem uma linha orientadora para a construção de uma

DFMEA (Design FMEA) e PFMEA (Process FMEA). Apesar de existirem algumas divergências nos procedimentos, de uma forma genérica as etapas de trabalho são as seguintes:

1. Numeração da FMEA

Colocação do número do documento da FMEA que poderá ser usado para rastreabilidade.

2. Sistema, Subsistema, Nome e Número do Componente/Item

Indicação do nível de análise apropriado, nome, número do componente, subsistema e sistema a ser analisado.

3. Responsável pelo Projeto/Processo

Preenchimento de informações relativas ao grupo/departamento do fabricante de equipamento original OEM (Original Equipment Manufacturer). Incluir também o nome do fornecedor se aplicável.

4. Preparador/a

Preenchimento de informações relativas ao preparador, nome, telefone e a empresa do Engenheiro responsável.

5. Ano Modelo (s)/produto (s)

Especificação do produto, ano, modelo (s) e linha de produto (s), onde se pretende usar e/ou que será afetado pelo projeto que está sendo analisado (se conhecido).

6. Data Chave, Prazo de Conclusão

Data de conclusão prevista para finalizar a FMEA, que não deve exceder a data de início de produção de um produto.

7. Data FMEA

Data em que a FMEA inicial foi compilada e a data da última revisão.

8. Equipa

Listagem de todos os responsáveis dos vários departamentos que têm a autoridade para a identificação e/ou realizar tarefas relacionadas com a FMEA. É recomendado o uso de uma lista de distribuição de modo a otimizar a troca de informação entre equipas.

9. Identificação da função do Item/Processo, Requisitos

Descrição detalhada da função do item ou processo consoante o tipo de FMEA, no caso do item, descrever ambiente de operação, com amplitudes no qual o sistema opera (exemplo: temperatura, pressão humidade, etc.) na função do produto, se o produto tiver mais que uma função que origine diferentes modos de falha, listar as restantes funções. No caso de um processo, indicar o objetivo do processo e suas operações/passos que correspondam a diferentes potenciais modos de falha.

10. Modos de Falha Potenciais

Definição do potencial falha de um componente, subsistema ou sistema, a atingir e a função para a qual foi desenhado. Ou no caso de uma PFMEA definido como potencial falha de um processo numa lista de requerimentos ou objetivo, entrando em não conformidade com as normas estabelecidas. Nota que a falha tem probabilidade de ocorrer, mas poderá não ocorrer. É recomendado um brainstorming, discussão de ideias entre os envolvidos/responsáveis pela FMEA, recorrendo a histórico de dados/falhas para identificar com rigor todos os potenciais modos de falha.

11. Efeitos Potenciais da Falha

Definição dos modos de efeito de falha no cliente final, ou seja, a forma como o cliente final percebe a falha. Para o preenchimento deste campo, é recomendado o uso de histórico de dados, reclamações, acionamentos de garantia, falhas de fiabilidade, etc. Um exemplo de falha de PFMEA: produto com defeito de pintura na chegada ao concessionário, decorrente de uma falha no processo de pintura, um exemplo de DFMEA pode ser uma infiltração de água devido a uma falha de design de um componente do produto.

12. Severidade (S)

A severidade é uma classificação da gravidade do efeito do potencial modo de falha. No estudo da FMEA utiliza-se, para medir esta característica, um índice (S) que varia entre 1 e 10, de acordo com a *Tabela 2.2* e *Tabela 2.3*, para DFMEA e PFMEA respetivamente:

13. Classificação

Este campo pode ser usado para classificar características de um produto no caso da DFMEA ou processo no caso da PFMEA, que necessitem de um controlo adicional.

Tabela 2.2 - Tabela de Severidade DFMEA (Moura, C. 2000)

Efeito	Critério: Severidade do Efeito	Índice de Severidade
Perigoso Sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança da operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança da operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito alto	Produto/item inoperável, com perda das funções primárias	8
Alto	Produto/item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito	7
Moderado	Produto/item operável, mas com item (s) de Conforto/conveniência inoperável (is). Cliente sente desconforto	6
Baixo	Produto/item operável, mas com item (s) de Conforto/Conveniência operável (is) com nível de desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito baixo	Itens: Forma e Acabamento/Ruidoso e Barulho não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Itens: Forma e Acabamento/Ruidoso e Barulho não conforme. Defeito notado pela média dos clientes.	3
Muito Menor	Itens: Forma e Acabamento/Ruidoso e Barulho não conforme. Defeito notado por clientes mais sensíveis.	2
Nenhum	Sem efeito	1

Tabela 2.3 - Tabela de Severidade PFMEA (Moura, C. 2000)

Efeito	Critério: Severidade do Efeito	Índice de Severidade
Perigoso Sem aviso prévio	Pode causar grave perigo à máquina e ao operador. Não conformidade com legislação governamental sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Pode causar grave perigo à máquina e ao operador. Não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio	9
Muito alto	Interrupção da linha de produção. Cem por cento do produto ficar danificado. Item inoperável, perda da função primária. Cliente muito insatisfeito	8
Alto	Interrupção parcial da linha de produção. Produto parcialmente danificado. Item operável, mas com reduzida performance. Consumidor insatisfeito.	7
Moderado	Interrupção parcial da linha de produção. Produto parcialmente danificado. Item operável, mas com algumas funcionalidades limitadas. Cliente sente desconforto.	6
Baixo	Interrupção parcial da linha de produção. Cem por cento do produto tem de ser corrigido. Item operável, mas com algumas funcionalidades ligeiramente limitadas. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito baixo	Interrupção parcial da linha de produção. O produto tem de ser parcialmente corrigido. Item operável, mas com algumas funcionalidades a causar ligeiro desconforto no uso. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Interrupção parcial da linha de produção. O produto tem de ser parcialmente corrigido, fora da linha de produção. Item operável, mas com alguns defeitos em não conformidade. Defeito notado por alguns clientes.	3
Muito Menor	Interrupção parcial da linha de produção. O produto tem de ser parcialmente corrigido, dentro da linha de produção. Item operável, mas com alguns defeitos em não conformidade. Defeito notado por clientes mais exigentes.	2
Nenhum	Sem efeito.	1

14. Causas e Mecanismos Potenciais da Falha

Definição uma indicação de uma deficiência do projeto, cuja consequência é o modo de falha. Devem-se listar todos os mecanismos/causas que possam impedir que o processo (no caso da PFMEA) cumpra os seus objetivos ou que um produto/projeto não cumpra a sua função ou não esteja em conformidade (no caso DFMEA). Um exemplo na metodologia PFMEA; aperto de um parafuso com binário incorreto ou usando o exemplo da metodologia DFMEA; material com especificações incorretas aplicado no fabrico do produto. As causas apresentadas devem ser as mais específicas possíveis, devendo-se evitar a justificação de falhas com situações redundantes como a falha do operador ou mau funcionamento da máquina.

15. Ocorrência (O)

A ocorrência é a probabilidade de um mecanismo/causa ocorrer. Esta probabilidade pode ser estimada numa escala de “1” a “10”. Para se reduzir efetivamente o índice de ocorrência (de “1” a “10”) é necessário alterar o processo (PFMEA) ou o produto/projeto (DFMEA). Na determinação da probabilidade de ocorrência, devem-se considerar questões como “a experiência/histórico de capo com os componentes a usar ou sistemas similares?”, “A aplicação do componente mudou?”, etc., no caso da DFMEA. De seguida tem-se a *Tabela 2.4* com a classificação do índice de ocorrência da DFMEA e a *Tabela 2.5*, com o índice de ocorrência da PFMEA onde existe um índice extra o “Cpk” índice de capacidade do processo (quanto mais alto o “Cpk” mais o processo está de acordo com as especificações requeridas).

Tabela 2.4 - Ocorrência DFMEA (Moura.C, 2000)

Probabilidade de falha	Taxas de falha possíveis	Índice de Ocorrência
Muito alta: Falha quase inevitável	≥ 1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: Falhas frequentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
Baixa: Poucas falhas	1 em 2 000	4
	1 em 15 000	3
Remota: Falha é improvável	1 em 150 000	2
	≤ 1 em 1 500 000	1

Tabela 2.5 - Ocorrência PFMEA (Moura, C. 2000)

Probabilidade de falha	Taxas de falha possíveis	Cpk	Índice de Ocorrência
Muito alta: Falha quase inevitável	≥ 1 em 2	<0,33	10
	1 em 3	≥0,33	9
Alta: Falhas frequentes em processos simiaes	1 em 8	≥0,51	8
	1 em 20	≥0,67	7
Moderada: Falhas ocasionais em processos similares	1 em 80	≥0,83	6
	1 em 400	≥1,00	5
	1 em 2 000	≥1,17	4
Baixa: Poucas falhas em processos similares	1 em 15 000	≥1,33	3
Muito baixa: Falhas isoladas em processos quase identicos	1 em 150 000	≥1,50	2
Remota: Falha improvável	≤ 1 em 1 500 000	≥1,67	1

16. Controlos Atuais do Projeto/Produto e Processo

Listagem das ações de controlo que podem detetar ou prevenir a ocorrência de um modo de falha, de modo a assegurar que o projeto ou processo esteja em conformidade com os objetivos definidos. De um modo geral são considerados três tipo de ações de controlo:

1. Prevenção da ocorrência da causa ou modo/efeito de falha ou redução da taxa de ocorrência destes.
2. Detecção da causa/mecanismo e implementação de ação corretiva.
3. Detecção do modo de falha.

É recomendado seguir os passos pela ordem descrita, dado que as ações do tipo 1 podem ajudar a baixar os índices de ocorrência (O) e as ações 2 e 3, baixam o índice de deteção, desde que os protótipos (DFMEA) ou processos (PFMEA) em uso sejam representativos do objetivo do projeto.

17. Detecção (D)

A deteção é a capacidade de os controlos (descritos no ponto 16) em identificar causas (controlos do tipo 2) e modos de falhas (controlos do tipo 3), antes do componente, subsistema ou sistema ser produzido (ou antes de um componente sair de um processo no caso da PFMEA). Para baixar o índice de Ocorrência (O) e Severidade (S), é necessário aperfeiçoar o programa de controlo do projeto/produto (DFMEA) ou processo (PFMEA), aplicando medidas preventivas e verificações/validações. A *Tabela 2.6* é similar para DFMEA e PFMEA.

Tabela 2.6 - Tabela de Detetabilidade (Moura, C. 2000)

Detecção	Critério: Probabilidade de detecção pelo controlo do produto	Índice de Severidade
Absoluta incerteza	Controlo de Projeto não consegue e/ou não pode detetar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha; ou não existe Controlo de Projeto.	10
Muito remota	Possibilidade muito remota do Controlo de projeto detetar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	9
Remota	Possibilidade remota do Controlo de Projeto detetar um mecanismo causal potencial e subsequente modo de falha.	8
Muito baixa	Possibilidade muito baixa do Controlo de Projeto detetar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	7
Baixa	Possibilidade baixa do Controlo de Projeto detetar um mecanismo causal potencial e subsequente modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada do Controlo de Projeto detetar um mecanismo causal potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Possibilidade moderadamente alta do Controlo de Projeto detetar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	4
Alta	Possibilidade alta do Controlo de Projeto detetar um mecanismo causal potencial e subsequente modo de falha.	3
Muito alta	Possibilidade muito alta do Controlo de Projeto detetar um mecanismo causal potencial e subsequente modo de falha.	2
Quase certa	O Controlo de Projeto irá com grande certeza detetar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	1

18. Risk Priority Number (RPN)

O número de prioridade de risco é o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D);

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.8)$$

É uma medida de risco do projeto/produto ou processo consoante a metodologia utilizada. Este número deve ser usado para priorizar as falhas do projeto (ex: Diagrama de Pareto). O RPN varia entre “1” e “1000”. Para RPN’s altos a equipa deve concentrar esforços de modo a reduzir o risco calculado através de ações corretivas. De modo geral, deveria ser dada atenção especial quando a severidade é alta, independentemente do RPN resultante.

19. Ações Recomendadas

Quando os modos de falha estiverem classificados pelo RPN, devem ser aplicadas ações corretivas ao modo de falha com o ranking mais alto. O objetivo das ações recomendadas é o de reduzir o índice de ocorrência, de severidade ou de deteção. Uma melhoria na verificação/validação resultará somente na redução do índice de deteção (D). Uma redução do índice de ocorrência (O), pode ser atingida somente pela eliminação ou controlo de uma ou mais causas/mecanismos potenciais de falha, através de alterações do projeto/produto ou processo consoante a metodologia.

Devem ser consideradas as seguintes recomendações DFMEA:

- Desenho de experiências (particularmente quando causa múltiplas ou interativas estão presentes)
- Revisão do plano de testes
- Revisão a especificação do material

Ou no caso da PFMEA:

- Para reduzir a probabilidade de ocorrência, são recomendadas revisões ao processo. Podem ser realizados estudos estatísticos para se obter feedback de informação para melhoria continua e prevenção de defeitos.
- Só uma revisão no processo pode reduzir o índice de severidade (S).
- Para aumentar a probabilidade de detecção são requeridas revisões no processo.

Se nenhuma ação for recomendada para uma causa específica, deve ser indicado “Nenhuma” nesta coluna.

20. Responsável e Prazo

Preenchimento da organização e das pessoas responsáveis pela implementação de ações de correção e prazo de execução.

21. Ações Tomadas

Preenchimento deste campo após a implementação da ação corretiva com uma breve descrição e a data de implementação.

22. RPN Resultante

Após a ação corretiva ter sido implementada, calculam-se os novos índices resultantes de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), que devem ser inferiores aos que existiam antes.

2.3.4 Vantagens e Limitações

A FMEA é uma atividade de engenharia de fiabilidade estabelecida que apoia a conceção de tolerância a falhas, capacidade de teste, segurança, apoio logístico e funções relacionadas. Constitui uma abordagem sistemática e analítica para planear adequadamente a prevenção

de defeitos (P. Ahire, 2012). Trata-se de uma técnica altamente estruturada e sistemática para a análise prática de falhas (Kumru, 2013).

São várias as vantagens reconhecidas na aplicação da metodologia FMEA:

- Catalisador do trabalho em equipa e da troca de ideias entre funções
- Permite a recolha de informações para reduzir futuras falhas, captar conhecimentos de engenharia
- Identifica precoce e elimina potenciais modos de falha
- Enfatiza a prevenção de problemas
- Assegura o cumprimento dos requisitos legais (responsabilidade pelo produto)
- Melhora a imagem e a competitividade da empresa
- Melhora o rendimento da produção
- Melhora a qualidade, fiabilidade e segurança de um produto/processo
- Aumenta a satisfação do utilizador
- Maximiza o lucro
- Minimiza as alterações tardias e os custos associados
- Reduz o impacto na margem de lucro da empresa
- Reduz o tempo e o custo de desenvolvimento do sistema
- Reduz a possibilidade do mesmo tipo de falha no futuro
- Reduz o potencial de preocupações com a garantia

Apesar das valências associadas a esta ferramenta de análise e deteção de modos de falha, alguns autores identificaram nesta, as seguintes limitações (Hassan et al., 2009) (P. Chao & Ishii, 2007) (Chow Teoh & Case, 2004):

1. A FMEA consome muito tempo e é fastidioso rastrear as falhas através de gráficos FMEA.
2. A FMEA é aplicada demasiado tarde e não afeta a tomada de decisões sobre a conceção e o processo.
3. A FMEA depende da análise subjetiva e da experiência dos engenheiros, que são conhecidas por um pequeno grupo de indivíduos, mas bastante desconhecidas e não geridas ao nível da empresa
4. A relação entre os diferentes componentes da falha não é tida em conta.
5. Dificuldade em avaliar com precisão os três índices.
6. A possível interdependência entre os modos de falha não é analisada.
7. O RPN não tem em consideração fatores externos como os fatores económicos.

2.4 Segurança

Um processo industrial é uma série sistemática de operações, de ordem mecânica, física ou química, que permitem transformar um recurso, uma ideia ou uma matéria-prima num produto final processado. As operações do processo são executadas com recurso a equipamentos e tecnologias dedicadas, fazendo uso de técnicas e métodos adequados ao propósito.

A atividade fabril exige a operação de equipamentos dinâmicos e está repleta de impulsos e movimentos. Na indústria metalomecânica em particular existe uma exposição constante a perigos vários, tais como temperaturas elevadas, corrente trifásica, objetos cortantes, esmagamento, etc. Este ambiente de trabalho caracteriza-se por ser hostil para o trabalhador e torna-se por isso essencial a criação de estratégias e barreiras que protejam todos os envolvidos na atividade fabril dos acidentes de trabalho e doenças profissionais, privilegiando a saúde e segurança no trabalho.

Autores definem a segurança como um estado em que os perigos e condições que levam a danos físicos, psicológicos ou materiais são controlados, a fim de preservar a saúde e o bem-estar dos indivíduos e da comunidade (Maurice et al., 1997a). Essa definição de estado é adotada e aprofundada sendo caracterizada em duas dimensões distintas, uma objetiva e outra subjetiva. A dimensão objetiva de segurança é avaliada aferindo o número de lesões ou parâmetros factuais comportamentais e ambientais (por exemplo, mortes relacionadas ao tráfego registadas numa comunidade, número de colisões numa intersecção perigosa) (Cooper, 2000). Esta dimensão da segurança define-se como um controlo confiável dos danos, sendo que o nível mínimo de segurança ocupacional é atingido quando a frequência e a gravidade dos acidentes ocupacionais se encontram num nível aceitável (Grimaldi & Simonds, 1975).

A dimensão subjetiva de segurança é avaliada inicialmente de forma qualitativa e reflete a sensação de se estar fora de perigo. Esta definição implica que a segurança é mais do que a ausência de eventos violentos ou de lesões. Na verdade, a segurança deve levar a uma sensação de bem-estar essencial para o florescimento de qualquer indivíduo ou comunidade. Assim, quanto à saúde, a segurança é considerada como um recurso necessário para indivíduos ou comunidades alcançarem as suas aspirações (Cooper, 2000).

Estas dimensões podem, em alguns casos contagiar-se positiva ou negativamente (Baram & Schoebel, 2007). Há quem defenda que a convivência habitual com perigo pode levar a uma desvalorização do mesmo e à adoção de uma postura menos defensiva. Um ponto de vista

oposto defende que a exposição a um certo nível de perigo pode estimular um estado de vigilância que, por sua vez, pode ter um efeito protetor (Cox & Cheyne, 2000).

Numa abordagem mais comportamental pode dizer-se que a segurança resulta de um processo complexo no qual os seres humanos interagem com os seus ambientes físicos, sociais, culturais, tecnológicos, políticos, económicos e organizacionais (Hudson, 2007).

A segurança num contexto empresarial está fortemente associada aos órgãos de gestão, que definem as medidas e estratégias a adotar. A gestão da segurança organizacional é definida como a combinação de medidas organizacionais informais e formais para alcançar a segurança nas organizações. Referindo-se às medidas organizacionais formais, como o sistema de gestão da segurança, e às informais, como cultura de segurança (Antonsen, 2009).

A gestão da segurança é realizada através da criação e implementação de um plano de segurança organizacional também chamado de SMS (*Safety Management System*). Este constitui um sistema pró-ativo de análise de atividades e identificação de perigos, encarregue de avaliar e gerir riscos (Cardoso, 2017). A estrutura de segurança pode ser definida como aspetos relevantes para a segurança da estrutura organizacional. A estrutura organizacional refere-se à forma como as tarefas numa organização são divididas, como o trabalho flui, como este fluxo é coordenado e as forças e mecanismos que permitem que esta coordenação tenha lugar (McShane & Travaglione, 2003).

A coordenação pode ser alcançada por: 1) comunicação informal, 2) hierarquia formal, envolvendo controlo direto, e 3) padronização das tarefas, com instruções formais, objetivos (padronização dos resultados) ou formação (padronização do conhecimento) (McShane & Travaglione, 2003).

O SMS abrange rotinas e medidas formais que descrevem a forma como a organização deve trabalhar sistematicamente com a segurança. Tal como a cultura de segurança, o SMS também é definido de várias formas. Os SMS descrevem a forma como os riscos devem ser identificados e mitigados através de avaliações formais, do desenvolvimento de contramedidas (por exemplo, procedimentos, formação), da definição de funções e responsabilidades, da avaliação regular dos resultados em matéria de segurança e da sua alteração, se necessário (Thomas, 2012). De forma a pôr em prática estes conceitos as organizações devem preparar-se para lidar com os eventos traumáticos indesejáveis reunindo os recursos (materiais, humanos e financeiros), disponibilizando programas e serviços na comunidade para minimizar os danos causados por um evento lamentável (danos físicos ou

outros danos, como problemas de adaptação social ou choque pós-traumático) e facilitando a reabilitação de indivíduos ou comunidades afetadas (Guldenmund, 2000; Maurice et al., 1997b).

Para além da gestão da segurança, as medidas organizacionais informais como a cultura de segurança são tidas como relevantes num contexto de segurança organizacional. O clima de segurança foi introduzido por Zohar em 1980 como uma medida de segurança em contextos profissionais tendo-se tornado um instrumento amplamente utilizado e reconhecido para prevenir acidentes em organizações locais e na população ativa em geral (Zohar, 1980). Mais recentemente definiu-se cultura de segurança como formas de pensar e agir partilhadas e relevantes para a segurança (Nævestad et al., 2019). O clima de segurança no trabalho é considerado um indicador conhecido de acidentes e pode, por conseguinte, ter consequências para o absentismo (Brandt et al., 2023). Estudos recentes demonstraram que o clima de segurança melhora a cultura e as práticas de segurança (Kasim et al., 2019).

De uma perspetiva antagónica podemos constatar a importância de um clima de segurança organizacional sólido através da análise das consequências da sua ausência. Ajslev argumenta que um clima de segurança deficiente foi recentemente associado a um risco acrescido de acidentes entre os operários (Ajslev et al., 2018). A ausência de estratégias de gestão da segurança e o baixo controlo do trabalho associados a um trabalho fisicamente exigente, a longo prazo, pode levar à perda de capacidade mental e física para o trabalho (Costa & Sartori, 2007). Para além das consequências físicas, psicológicas e anímicas dos operários existem também as consequências financeiras. O absentismo por doença continua a ser um enorme problema com consequências para as empresas, as sociedades, os indivíduos e os seus dependentes em termos de perda de produtividade, perda de rendimentos e pagamentos de subsídios de doença (Henderson et al., 2005; Kivimäki et al., 2003; Lund et al., 2008).

Em concordância com esta tese estão os casos de sucesso. Alguns académicos consideram que a participação ativa das empresas em atividades de responsabilidade social e na divulgação de informações sobre responsabilidade social pode melhorar o desempenho das empresas, reduzir os encargos da dívida, os custos financeiros, atenuar as restrições de financiamento das empresas e melhorar a eficiência do investimento e a reputação das empresas (Zhang & Liu, 2023).

Acadêmicos nas suas análises mostram que os fatores relacionados com a segurança estão associados à liderança, ao empenho, ao bem-estar e à satisfação (Brandt et al., 2023).

(Damião, 1995), descreve os benefícios para as organizações caso estas decidam investir na segurança e na saúde em contexto laboral. Os proveitos para a empresa compõe: ganhos substanciais de produtividade e por consequência incremento de resultados das empresas; elevados padrões de qualidade dos produtos e serviços prestados; menores custos indiretos relacionados com paragens e perdas de produção; menores custos diretos relacionados com indemnizações por lesão, incapacidades, etc. aumento significativo da imagem da empresa junto dos trabalhadores e clientes/fornecedores.

(Rinefort, 1976), verificou que as variáveis mais eficazes para reduzir os custos numa ordem decrescente são: as regras de segurança, a formação a nível da segurança, as atividades de receção aos novos funcionários, as reuniões, os equipamentos médicos e pessoal. O mesmo autor conclui ainda que as empresas com menos acidentes gastavam menos nos seus programas de segurança. Na verdade, empresas com resultados insatisfatórios em saúde e segurança no trabalho têm de gastar muito mais dinheiro do que outras para tentar remediar a situação.

Muitos autores enfatizam o papel crucial da gestão da segurança na redução do custo dos acidentes de trabalho. A segurança implica inevitavelmente a prevenção de acidentes de trabalho e, no que diz respeito à prevenção, toda uma série de medidas existem para as empresas, desde programas preventivos mais básicos até aos muito sofisticados.

A gestão de segurança significa um controlo abrangente de segurança e inclui a gestão de métodos, procedimentos e pessoas (Hollnagel, 2004).

Embora os sistemas de gestão de segurança possam variar consideravelmente na sua implementação prática, todos eles são utilizados com o objetivo de controlar os seguintes campos: políticas e desenho de segurança (incluindo a definição de objetivos de segurança, priorização de objetivos, desenvolvimento de programas); organização e comunicação (definição de responsabilidades, criação de canais de comunicação); gestão de riscos (identificação de riscos, avaliação de riscos, métodos de controlo); auditoria e avaliação (Clarke, 1999; Pidgeon, 1998)

Para além da influência da estratégia organizacional é ainda importante mencionar o peso da legislação laboral na segurança. Reconhece-se que a legislação atua como um fator de motivação para a ação organizacional em matéria de riscos psicossociais (Leka et al., 2023).

Duas consequências relevantes das políticas de segurança organizacional são a precessão da sociedade e a reputação social. A reputação social refere-se a uma avaliação global e positiva das atividades de produção e de funcionamento de uma empresa por parte dos intervenientes externos. É um ativo intangível crucial para as empresas e um elemento-chave do seu poder de influência para obter vantagens em mercados altamente competitivos. Qualquer queixa relativa à saúde e segurança no trabalho pode prejudicar a reputação da empresa (Oh et al., 2013). A informação sobre a responsabilidade social das empresas (RSE) tem um "efeito de seguro da reputação". Quanto maior for a qualidade da divulgação da informação sobre RSE, maior será a reputação da empresa (Wang, 2019).

A cultura de segurança tem sido retratada como a última fase do desenvolvimento evolutivo da gestão da segurança, de tal forma que as organizações com uma cultura de segurança altamente positiva atingiram o mais alto nível de maturidade organizacional. Assim, as abordagens culturais bem-sucedidas só podem ser possíveis quando os aspetos técnicos e sistémicos da segurança preexistentes já estão a funcionar adequadamente (Fleming, 2001; Kim & Park, 2016).

2.5 Análise de Investimento

2.5.1 Investimento

O conceito de investimento sugere a aplicação de capital com o objetivo de criar valor. “Investir corresponde a trocar a possibilidade de satisfação imediata e segura pela satisfação diferida traduzida num consumo superior” (Abecassis & Cabral, 1991).

De acordo com (C. Barros, 1998) entende-se por investimento “uma aplicação de fundos escassos que geram rendimento durante um certo tempo, de forma a maximizar a riqueza da empresa.

O investimento é a última etapa de um processo extenso de análise de objetivos, definição de estratégias e avaliação de cenários de que culmina na decisão de aplicação dos fundos na proposta vencedora. Este estudo técnico de viabilidade económica e financeira é denominado de projeto de investimento.

Segundo (C. P. Barros, 2007) um projeto de investimento é um negócio para a empresa através da aplicação de fundos que geram rendimento, envolvendo um conjunto de decisões e objetivos, entre os quais, a escolha dos recursos a alocar, a determinação das receitas e despesas, a escolha das fontes de financiamento e o estudo do enquadramento legal e financeiro. Um projeto de investimento é também entendido como um conjunto de informação sistematizada com o objetivo de fundamentar uma decisão de investimento, pretendendo estimar o valor (o mais exato possível) a ser criado pelo investimento, aumentando a eficiência da utilização dos recursos.

A decisão do investimento assenta fundamentalmente no resultado da análise da rentabilidade dos projetos, pois este é o aspeto que mais interessa ao investidor (Marques, 1998).

Tipos de investimento

São múltiplas as motivações que podem estimular uma empresa a explorar oportunidades de investimento, desde a correção de problemas e disfunções nos processos até à procura de mais eficiência produtiva e por sua vez competitividade. No âmbito empresarial os investimentos são sobretudo classificados de acordo com o objetivo a que se propõem, sendo esse um fator que afeta fortemente a conceção do projeto de investimento. Para (H. Barros,

1991), dependendo do tipo de projeto, as previsões dos cash flows tornam-se mais ou menos difíceis; há mesmo certos casos onde a apreciação quantitativa se torna quase impossível, não sendo, pois, aplicável o cálculo da rentabilidade.

Quanto aos objetivos estratégicos inerentes aos investimentos, estes podem ser classificados das formas que se seguem (H. Barros, 1991)(Marques, 2006; Martins et al., 2009; E. S. Silva & Queirós, 2013):

Os investimentos de substituição destinam-se a renovar o equipamento existente, substituindo-o por outro com maior eficácia tecnológica, sendo um investimento de natureza defensiva. Nestas circunstâncias é feita a substituição de instrumentos usados por equipamentos novos com especificações semelhantes; Como tal, são os investimentos que apresentam menor incerteza e risco, pois podem não aumentar a capacidade produtiva da empresa, mas permitem economias de custos e a melhoria da oferta em termos qualitativos; Nesta modalidade de investimento as economias de custos, nomeadamente, as de conservação e reparação, são geralmente conhecidas e a sua previsão pode ser feita com uma precisão satisfatória.

Os investimentos de modernização e inovação consistem na criação e produção de um novo produto, serviço ou atividade, ou por outro lado, na alteração de um já existente, melhorando as técnicas produtivas e tornando as organizações mais eficientes e inovadoras. Esta tipologia de investimento tem como finalidade aumentar a oferta da empresa e reduzir custos, nomeadamente a mão de obra. Dadas as suas características este tipo de aplicação constitui um investimento de natureza ofensiva.

Os investimentos de expansão destinam-se a promover o crescimento da capacidade produtiva ou a criação e adição de um novo produto à gama já existente; perante este cenário uma empresa espera ganhos suplementares muito mais do que uma diminuição de custos. Estes investimentos têm na sua origem uma estratégia ofensiva que pretende aumentar, em termos quantitativos, a oferta da empresa e, por conseguinte, a capacidade produtiva instalada, sem modificar a natureza dos produtos. Na maioria dos casos realiza-se em resposta a um aumento da procura.

Por fim, os investimentos estratégicos e os de interesse geral são difíceis de avaliar; os efeitos de tais despesas não aparecem tão rapidamente quanto seria de desejar e são em muitos casos indiretos. A sua natureza é, essencialmente, defensiva, na medida em que se centram na redução do risco e proteção da empresa, através da implementação de condições

favoráveis à sua prosperidade a médio/longo prazo. É o caso dos investimentos de integração vertical a montante e a jusante, ou outros, que tenham como finalidade participações estratégicas; Investimentos estratégicos expandem a atividade económica e reduzem o risco de negócio, enquadrando-se com o plano estratégico da organização a longo prazo.

A necessidade de investimento é, na generalidade dos casos, motivada pela observação e identificação de problemas, ineficiências ou desafios organizacionais, sendo o investimento parte fundamental da solução dos mesmos. Em apoio a esta tese, (Abecassis & Cabral, 1991), referem que os investimentos podem advir de insuficiências no processo técnico da empresa, pelo que importa renovar os bens de capital existentes. Também podem ser possíveis respostas às necessidades evidenciadas pelo mercado que devem ser ajustadas de acordo com os objetivos estratégicos organizacionais.

2.5.2 Metodologias de Avaliação da Decisão Investimento

Os critérios de avaliação de investimentos mais utilizados, atualmente, são os que se baseiam na atualização de rendimentos futuros, isto é, consideram o efeito da inflação e o custo de oportunidade de capital. No processo de análise de investimentos, gestores e investidores procuram a resposta mais fidedigna e aproximada da realidade para decidirem se um projeto de investimento deve ser aceite ou rejeitado.

De acordo com (João et al., 2007), os métodos de avaliação de investimentos dividem-se em dois grandes grupos: os métodos tradicionais ou empíricos e os métodos atuariais ou científicos. A grande diferença entre estes dois métodos resume-se ao facto dos métodos empíricos, contrariamente aos científicos, não recorrerem à atualização das séries anuais de recebimentos e pagamentos. A taxa média de rentabilidade contabilística (ROI – *Return on Investment*) e o Prazo Médio de Recuperação do Investimento (PMRI) são alguns exemplos dos métodos empíricos. Por outro lado, o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR), o Índice de Rendibilidade do Projeto (IRP) e o *Payback* (atualizado) apresentam-se como métodos científicos (João et al., 2007).

2.5.2.1 Métodos Empíricos

Os métodos empíricos, como referido anteriormente, são os indicadores que não recorrem à atualização e que têm por base a utilização de indicadores contabilísticos (João et al., 2007).

ARR (Accounting Rate of Return)

Este indicador também é designado de Taxa Média de Rendibilidade Contabilística ou de Taxa de Retorno do Investimento (ROI). Em termos analíticos, é obtida pela seguinte expressão (João et al., 2007):

$$ARR = \frac{\text{Resultado Líquido Médio}}{\text{Valor Contabilístico Médio do Investimento}} \quad (2.14)$$

A ARR indica a taxa de rendibilidade relativamente ao custo do investimento, sendo que em termos de decisão, procura-se compará-la com uma taxa de rendibilidade alternativa, pré-fixada, onde se aceitam os projetos que possuam uma ARR igual ou superior à taxa previamente fixada. (João et al., 2007)

PMRI (Período Médio de Recuperação do Investimento)

Face ao anterior critério, este método já tem em consideração os fluxos financeiros dos projetos de investimento, embora não recorra à atualização, o que o torna um melhor indicador (Brealey & Myers, 1998). Para (João et al., 2007), o PMRI é traduzido pela seguinte expressão matemática:

$$PMRI = \frac{DTI}{MLLM} \quad (2.15)$$

DTI - Despesas Totais de Investimento ou Capitais Investidos (capital fixo e fundo de maneio necessário de exploração), líquidos do seu valor residual.

MLLM - Meios Libertos Líquidos Anuais Médios.

O PMRI indica o número de anos necessários para recuperar o investimento inicial. Em termos de decisão, também consiste na comparação do PMRI com um período previamente definido como aceitável, rejeitando-se os projetos cujo PMRI seja superior ao fixado (João et al., 2007).

2.5.2.2 Métodos Científicos

Os critérios de avaliação científicos são os métodos por excelência da avaliação da rendibilidade dos projetos de investimento. Estes critérios têm em consideração o fator tempo, fazendo-o através da teoria da atualização que permite concentrar e comparar, num determinado momento

do tempo, fluxos financeiros de receita ou despesa que se prevê ocorrer em diferentes períodos temporais (João et al., 2007).

VAL (Valor Atual Líquido)

O Valor Atualizado Líquido avalia a viabilidade de um projeto de investimento permitindo aos promotores dos projetos de investimento apurar o excedente monetário gerado pelo projeto depois de remunerado e reembolsado o capital investido.

O VAL corresponde ao excedente entre o montante investido no momento presente (*cash out flow*) com o potencial de *cash flows* a serem gerados durante a vida do projeto (*cash in flow*), admitindo como hipótese que estes últimos são reinvestidos à taxa de atualização do custo do capital utilizado no financiamento do projeto (E. S. Silva & Queirós, 2013)

O cálculo deste indicador é feito pela atualização dos valores futuros esperados à taxa de rentabilidade oferecida por alternativas de investimento comparáveis. Esta taxa de rentabilidade é muitas vezes, designada por taxa de atualização, taxa mínima de rentabilidade ou custo de oportunidade do capital (Richard A. & Myers, 2007).

Na sua formulação mais simples o VAL é calculado através de:

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{Cash - flow \text{ Líquido}}{(1 + i)^t} \quad (2.16)$$

Quanto à taxa de atualização

Dependendo das condições e cenários de investimento o VAL pode ser calculado com taxa de atualização fixa ou com taxa de atualização variável. (Soares et al., 2008) apresenta como fórmulas genéricas para o cálculo deste indicador:

a) Taxa de atualização constante ao longo do período de vida útil do projeto:

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{CFG_t}{(1 + k)^t} \quad (2.17)$$

$$VAL = \frac{CFE_1}{(1 + k)^t} + \frac{CFE_2}{(1 + k)^t} + (...) + \frac{CFE_n}{(1 + k)^n} + \frac{VR}{(1 + k)^n} - CI_0 \quad (2.17)$$

b) Taxa de atualização variável ao longo do período de vida útil do projeto:

$$VAL = \sum_{t=1}^n \frac{CFE_t}{\prod_{t=1}^n (1 + k_t)} - \sum_{t=0}^n \frac{CI_t}{\prod_{t=0}^n (1 + k_t)} \quad (2.18)$$

CFG_t - cash flow global obtido no período t ;
 CFE_t - cash flow de exploração obtido no final do ano t ;
 CI_0 - valor atualizado do montante correspondente ao custo do investimento;
 VR - valor residual do capital investido;
 k - taxa de atualização;
 n - período de vida útil (em anos) do investimento.

Quanto à ótica do utilizador

Este indicador pode ainda ser abordado de duas perspetivas diferentes. O VAL pode ser calculado na ótica de uma empresa e na ótica de um acionista. Assim a fórmula genérica poderá ser adaptada dependendo da ótica de avaliação pretendida (Mithá, 2009).

a) Na ótica do projeto: deve ser utilizado o cash flow líquido do projeto (CFL), atualizado à taxa do custo médio ponderado do capital (k_m).

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{CFL_t}{(1 + k_m)^t} \quad (2.19)$$

b) Na ótica do acionista: deve ser utilizado o cash flow na ótica do acionista (CFGa) e a taxa de atualização deverá corresponder à taxa de retorno exigida por estes (k_s).

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{CFGa_t}{(1 + k_s)^t} \quad (2.20)$$

Análise do Indicador

No que diz respeito à análise de resultados, a viabilidade de um projeto de investimento manifesta-se em três possibilidades.

VAL > 0

A decisão de investir no projeto é viável. Um VAL positivo significa que realizar o projeto gera retorno suficiente para cobrir o investimento inicial, corresponder à rentabilidade mínima exigida pelo investidor, resultando num excedente que corresponde ao valor do VAL. Significa que gera mais recursos que uma alternativa de investimento com nível de risco equivalente.

VAL = 0

Constitui o ponto de indiferença. Contudo, dado o nível de incerteza quanto aos resultados futuros, existe uma grande probabilidade do projeto se tornar viável ou não.

VAL < 0

O projeto é economicamente inviável, devendo ser rejeitado. Este modelo pode ser facilmente convertido num critério de decisão quanto à viabilidade económico-financeira de um projeto. O investimento deve ser implementado quando o VAL é positivo, apesar de que alguns investidores arriscam mesmo quando o VAL é negativo, seguindo outros critérios de avaliação.

IRP (Índice de Rendibilidade do Projeto)

O IRP pode ser visto como uma variação do VAL que tem em consideração o custo do investimento. É um indicador de rentabilidade efetiva por unidade de capital investido, ou seja, mede a relação entre o valor atual dos fluxos líquidos positivos do investimento e o valor atual dos capitais neste investido (Soares et al., 2008).

$$IRP = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CF_t + I_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+i)^t}} \quad (2.21)$$

CF_t - Cash-Flow no momento t

I_t = Investimento no momento t

t = Tempo

i = Custo de oportunidade do capital, taxa de atualização

O IRP, como acima mencionado, poderá ser interpretado como um indicador complementar do critério VAL, especialmente quando a empresa apresenta restrições de orçamento. Do cálculo do IRP é possível retirar três conclusões possíveis de orientar a tomada decisão:

- Se IRP for superior a 1: o projeto deve ser aceite, uma vez que os benefícios futuros são superiores ao capital investido;
- Se IRP for igual a 1: será indiferente aceitar ou rejeitar o projeto, pois como acima referido, para um VAL nulo, o projeto não gera excedentes;
- Se IRP for inferior a 1: o projeto deverá ser rejeitado, uma vez que os cash flows gerados não conseguem cobrir a totalidade do capital investido e criar excedentes, tal como se verifica para um VAL negativo.

Este indicador possibilita a hierarquização de projetos tendo em conta a dimensão do investimento é uma das principais vantagens do Índice de Rendibilidade do Projeto. Tal como o VAL, pressupõe a cuidadosa escolha do nível da taxa de atualização e consideração da hipótese de reinvestimento dos *cash flows* anuais dos próprios projetos, a essa mesma taxa (Bettencourt Santos Nunes Capitão, 2016).

TIR

A TIR, comumente designada por *internal rate of return* (IRR) e *earning power rate*, na literatura estrangeira, corresponde à taxa de atualização que iguala o VAL do projeto a zero, ou seja, a taxa máxima a que o investidor pode remunerar os capitais investidos (João et al., 2007).

A TIR tem algumas semelhanças com a formulação algébrica do VAL, no entanto a abordagem é diferente, porque a taxa de atualização é a incógnita a estimar e mede a taxa de remuneração que o projeto poderá proporcionar aos financiadores (Soares et al., 2008).

Como critério de rentabilidade, a TIR é considerada um complemento ao VAL, tipicamente são usados em conjunto para decisões entre projetos diferentes, uma vez que estes, isoladamente, podem levar a conclusões divergentes devido à influência da taxa de atualização (Akalu, 2001).

A TIR evidencia o nível de rentabilidade máxima que o projeto poderá oferecer aos seus promotores, através da comparação do valor atual dos benefícios futuros com o valor atual do capital investido. Matematicamente, a TIR determina a taxa de atualização para o qual o VAL é nulo.

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{CFL_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (2.22)$$

A tomada de decisão com base no critério TIR, só fará sentido, se esta taxa for comparada com uma taxa de juro de referência (k), que à partida, corresponderá ao custo médio ponderado do capital.

Do cálculo da TIR, por comparação com a taxa de referência, é possível retirar três conclusões (Remer & Nieto A., 1995):

- Se a TIR for superior a k o projeto deve ser aceite;
- Se a TIR for igual a k é indiferente aceitar ou rejeitar o projeto;
- Se a TIR for inferior a k o projeto deverá ser rejeitado.

O esquema da *Figura 2.6* permite a visualização da relação entre a Taxa Interna de Rentabilidade e o Valor Atual Líquido.

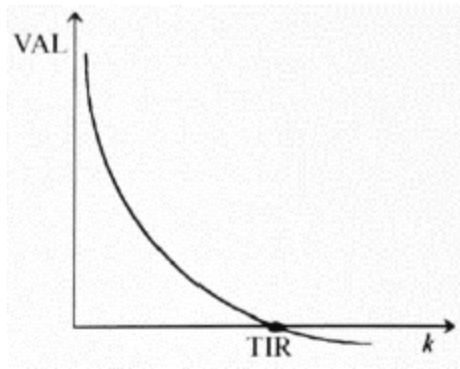


Figura 2.6 - Relação entre o VAL e a TIR (P. P. Silva, 1999)

Payback (Atualizado)

Os projetos de investimento podem também ser avaliados segundo o período de recuperação do investimento (PRI), comumente designado na literatura financeira por Payback. O período de recuperação de um projeto obtém-se calculando o número de anos que decorrerão até os fluxos de tesouraria acumulados previsionais igualarem o montante do investimento inicial (I_0) (João et al., 2007). Período, quando:

$$\sum_{t=1}^n \frac{CFL_t}{(1+i)^t} = I_0 \quad (2.23)$$

Este período de recuperação do investimento pode recorrer ou não à atualização, dando origem ao *payback* atualizado ou *payback* não atualizado, respetivamente. Destes dois, o método mais utilizado é o que recorre à atualização. De acordo com este critério, aceitam-se os projetos que possuam um *payback* inferior ao período de recuperação do capital investido pretendido pelo promotor do projeto, no entanto, quando não é fixado este período, aceitam-se os projetos cujo *payback* seja inferior ao período de vida do projeto.

Um estudo realizado em 2007 por investigadores da Universidade do Algarve, considera este critério repleto de subjetividade e arbitrariedade, inadequado para projetos em que o investimento é distribuído ao longo do tempo. Contudo, os mesmos autores afirmam que, não obstante do *payback* ser teoricamente inferior às outras técnicas de cash-flows atualizados, este é preferível em situações onde as tecnologias estão em constante mutação e onde os novos produtos facilmente se tornam obsoletos. (João et al., 2007)

3 Estudo de Caso

3.1 Contexto

A proposta a estudar foi a de acompanhar e analisar o processo produtivo de um produto fabricado em ambiente industrial, de maneira a compreender o sistema de produção e recolher informação que permitisse replicar esse mesmo sistema na forma de um modelo simulável e, numa fase posterior, trabalhá-lo com a finalidade de apurar ineficiências e oportunidades de melhoria, desenvolvendo e validando hipóteses.

3.1.1 A Empresa

O processo de produção em estudo está inserido numa empresa portuguesa dedicada à construção metálica, caixilharia em alumínio, manutenção industrial, entre outras valências. A instituição em causa, a FMLP & Irmão, Lda., (*Figura 3.1*), integra o setor da metalomecânica nacional desde a sua fundação no início da década de 70. Esta unidade industrial, situada na Beira Baixa, trata-se de uma PME (pequena/média empresa) com uma capacidade produtiva da mesma dimensão. A sua área de atuação transcende as fronteiras nacionais, tendo já atividade considerável nos mercados europeu e africano.



Figura 3.1 - Sede da Fernando Miguel Lopes Pereira & Irmão, Lda.

É frequente o envolvimento da empresa em projetos complementares à edificação de lotes de habitação, tendo ao longo do seu percurso um número extenso de obras realizadas no setor do fornecimento e montagem de caixilharias de alumínio, guardas inox e serralharias metálicas.

A composição desta unidade industrial é diversa, sendo esta constituída por diferentes pavilhões que acolhem processos e atividades distintas. Nas diferentes partes da imediação concentram-se atividades que vão desde as serralharias e transformação de inox, ao alumínio e caixilharia até ao tratamento de superfícies. Uma planta simplificada dos edifícios em questão apresenta-se esquematizada na *Figura 3.2*. Os processos em foco nesta análise incidirão sobre as serralharias, no Pavilhão nº2 – Estruturas Metálicas (PEM) e tratamentos de superfície, no Pavilhão nº4 – Tratamentos de Superfície (PTS).



Figura 3.2- Esquema exemplificativo da planta da unidade industrial

O caso de estudo em causa vai incidir na análise de um processo produtivo que teve na sua base o encargo de satisfazer um compromisso contratual de fornecimento e instalação de guardas metálicas a um projeto habitacional como o descrito anteriormente.

3.1.2 O Projeto

O comprometimento contratual com o cliente determina que se tenha de assegurar o fornecimento de guardas metálicas para um conjunto de lotes compostos por edifícios de múltiplos andares. A dimensão desta obra implica a mobilização de esforços acrescidos e uma reorganização da estrutura produtiva visando respeitar as características e quantidade contratada.

Apesar das pequenas variações do produto em causa, existe um formato padrão de construção a obedecer, sendo o produto constituído na generalidade pelas mesmas matérias-primas, passando por processos similares de produção. Esse fator uniforme permite a criação de uma linha de produção dedicada à construção do produto.

Tendo o objetivo de produção definido foi necessário criar uma linha produtiva que permitisse o encadeamento de processos e fluidez de produção.

A atividade de interesse a estudar vai ter foco no setor da construção metálica, estando a linha produtiva em questão dedicada à transformação de aço. Tendo isso em conta é importante referir que o processo produtivo se estende além das serralharias, sendo sucedido por tratamentos metálicos e de pintura a jusante.

O estudo de caso terá por base a recolha e análise de dados referentes à linha produtiva descrita, sendo pretendido o acompanhamento de toda a logística que envolve a preparação, receção de matérias-primas, armazenamento, transformação, acondicionamento, transporte até à entrega do produto final acabado.

3.1.3 Descrição do produto

O projeto explorado dedica-se, como já descrito, à produção de guardas metálicas para um empreendimento habitacional. Estas guardas têm composições e formatos muito semelhantes sendo constituídas na íntegra por elementos em aço S275 JR+M, mais precisamente barras de 70x10 mm e varões de 10 mm de diâmetro. Estas matérias-primas são trabalhadas de acordo com as exigências das folhas de obra e resultam, numa fase final, numa geometria como a da *Figura 3.3*.

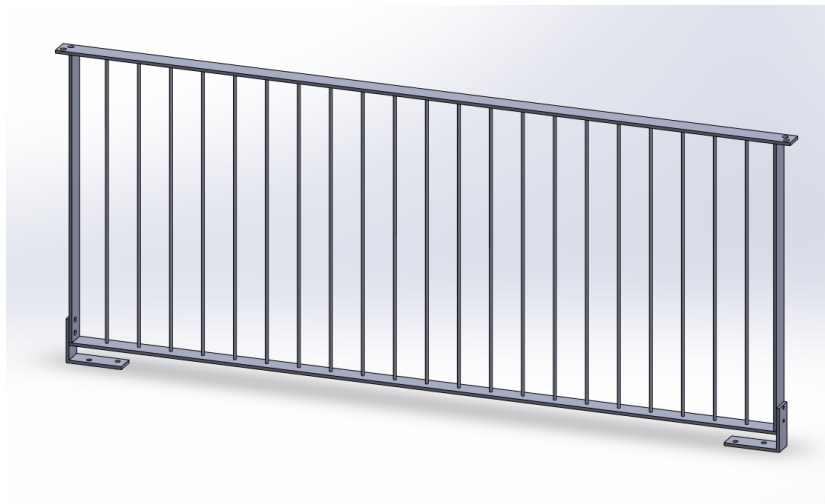


Figura 3.3 - Perspetiva dimétrica de desenho 3D da guarda metálica.

Para além dos processos de corte e soldadura mais evidentes são também executados processos de puncionamento e escareamento em pontos locais de interesse, estes terão a função de assegurar a fixação das guardas metálicas e apresentam um aspeto semelhante ao demonstrado na *Figura 3.4*.

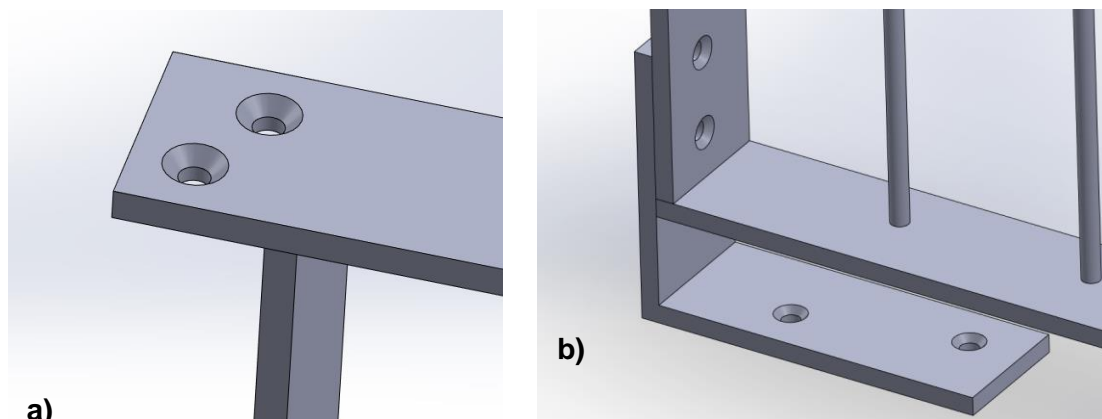


Figura 3.4 - Detalhes locais de furação e escareamento no topo a), e na base b) da guarda metálica.

O produto é, numa fase final, pintado e protegido devidamente assegurando a longevidade do mesmo e a resistência aos fenómenos meteorológicos bem como às condições normais de utilização.

3.2 Descrição do processo produtivo

A produção de estruturas metálicas é um processo de alguma complexidade, envolvendo múltiplas variáveis, desde os recursos e matérias-primas, passando pelos processos tecnológicos e técnicas produtivas, até à mão de obra e *know-how* dos elementos envolvidos.

De forma a pôr em prática este desafio foram mobilizados esforços, percorridas estações de trabalho e planeadas atividades que, depois de encadeadas e executadas, deram origem ao produto final acabado.

A descrição deste processo produtivo foi organizada pelas áreas de trabalho principais, de forma a caracterizar os espaços, processos e atividades de maneira cronologicamente ordenada, respeitando o planeamento do projeto. A estrutura do processo segue o fluxograma apresentado na Figura 3.5.

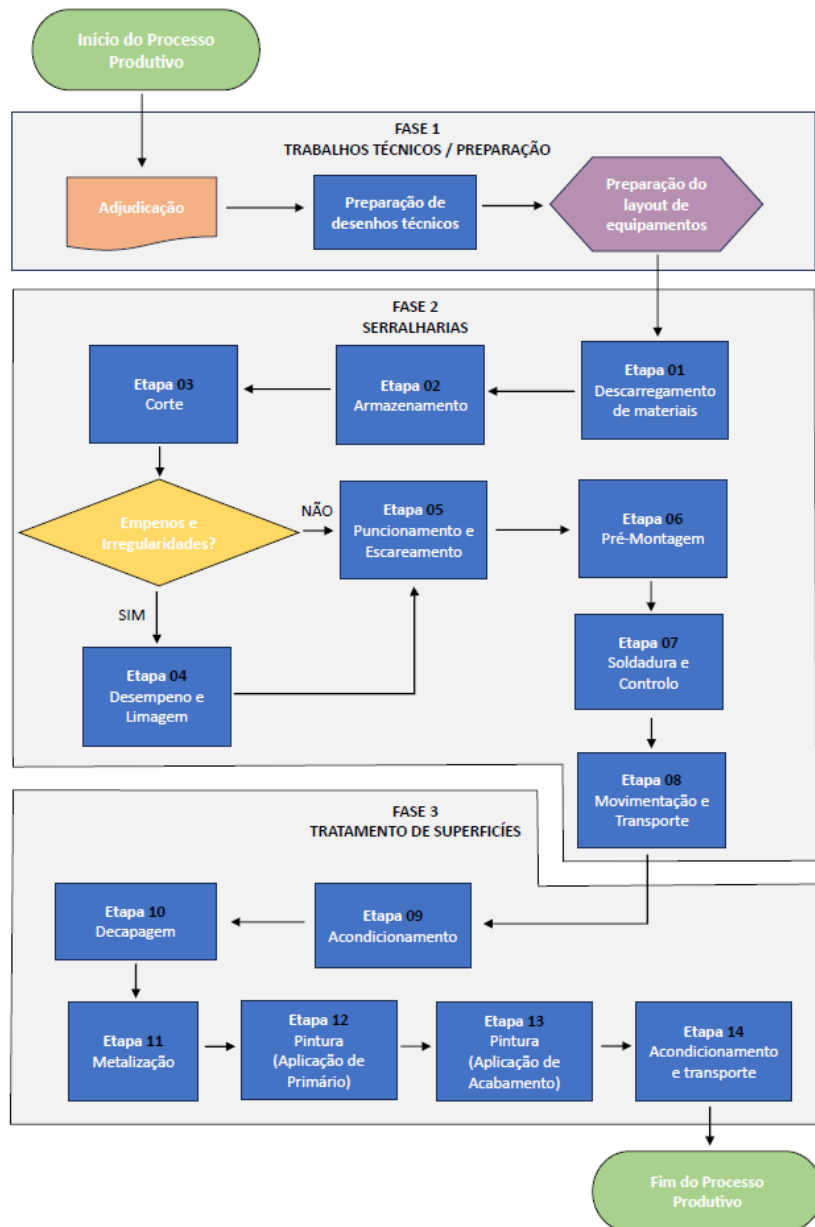


Figura 3.5 - Fluxograma do Processo Produtivo.

3.2.1 Escritório

Fase 1 – Trabalhos Técnicos / Preparação

O Escritório é o local onde nasce o projeto, sendo este o espaço em que são tomadas as decisões e iniciados os primeiros trabalhos.

O processo produtivo em estudo tem a sua origem no momento de adjudicação do projeto que despoleta todo o processo de gestão da produção. Nesta primeira fase é dimensionado o projeto e executadas as preparações das estruturas na forma de desenhos técnicos e folhas de obra detalhadas.

Este processo é realizado utilizando ferramentas de *CAD* que agilizam o desenho e encurtam a duração da tarefa, permitindo a esquematização das etapas do processo produtivo que auxiliará a execução do mesmo. A elaboração do desenho técnico permite a precessão e identificação das etapas de trabalho que definirão os processos, técnicas, matérias-primas, entre outras variáveis fundamentais para a gestão de produção.

A ferramenta *Excel* também ocupa um lugar central na vertente do planeamento, controlo e organização de trabalhos. A introdução de folhas de obra no processo produtivo permite acompanhar e medir o progresso dos trabalhos. Estas ferramentas servem de identificação para a remessa a produzir e recolhem assinaturas dos responsáveis dos processos ao longo o ciclo produtivo.

3.2.2 Pavilhão de Estruturas Metálicas

Estabelecidas as necessidades de produção dá-se início ao processo de gestão. Nesta fase são alocados recursos e mão de obra ao projeto, definindo-se tarefas e responsabilidades. A localização onde é iniciada a implementação do planeamento é o pavilhão de estruturas metálicas, *Figura 3.6*.



Figura 3.6 - Entrada do Pavilhão de Estruturas Metálicas.

Conhecendo os processos a realizar é executado um rearranjo da disposição do chão de fábrica do PEM e é trabalhado um layout adequado, implementando uma cadeia de produtiva de equipamentos. É também neste momento que, sabidas as quantidades a produzir, são realizadas as encomendas de matéria-prima aos fornecedores parceiros.

Fase 2 - Serralharias

O departamento responsável pelos trabalhos de construção das guardas é constituído pela equipa de trabalhos de serralheria. A equipa de serralheria integra 4 colaboradores sendo

esporadicamente incorporada por um quinto elemento a quem compete a movimentação de cargas.

O PEM, como anteriormente referido, foi sujeito a uma reestruturação de layout. Neste processo movimentaram-se equipamentos e máquinas-ferramentas, construindo zonas de trabalho com as condições e localizações alinhadas de acordo com o processo planeado.

A disposição final conta com 7 setores de trabalho, como representado na Figura 3.7, estes apresentam-se em áreas delimitadas por diferentes cores no esquema que se segue.

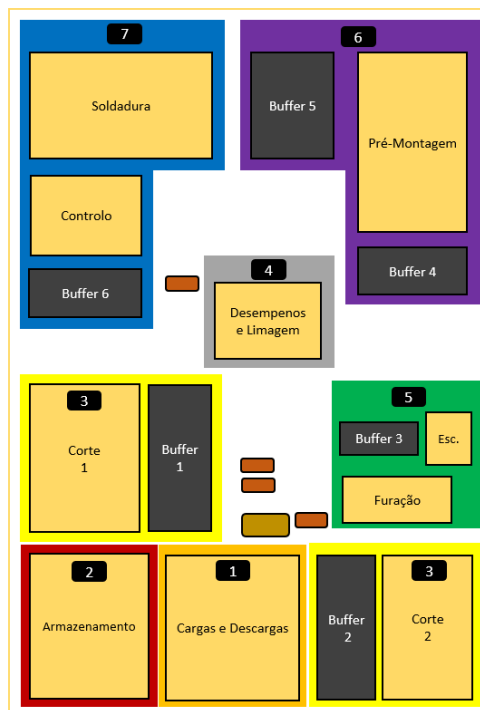


Figura 3.7 - Setores de Trabalho - Serralharías.

Estes setores incorporam uma ou, em alguns casos, duas estações de trabalho, tendo em alguns deles zonas de armazenamento temporário de itens em processamento associadas.

Estas zonas anteriormente descritas apresentam-se na Figura 3.7 numa tonalidade de cinzento-escuro com a denominação de buffer, tendo associadas uma numeração que as diferencia e elucida quanto ao estágio de produção.

Início de Trabalhos

O início dos trabalhos em fábrica dá-se após um briefing à equipa de trabalho, seguida de atribuição de tarefas e objetivos detalhados. Este procedimento é também realizado, de forma mais ligeira, no início de cada dia de trabalho, sendo este um ponto crucial no processo de gestão da produção, permitindo a realização de um ponto de situação e uma verificação, controlo e comparação entre o planeado e o executado.

Etapa 1 - Cargas e Descargas

Num período que precede o início da produção dá-se a chegada das matérias-primas encomendadas, procedendo-se á sua arrumação. O espaço destinado a esta operação é a estação de cargas e descargas. Este local tem um papel transversal a qualquer processo produtivo tratando-se do espaço mais próximo dos portões/entrada do pavilhão, no qual se movimentam veículos e se procedem aos carregamentos e descarregamentos de material. A operação de descarregamento é efetuada por uma equipa de colaboradores auxiliados pelos equipamentos adequados. As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.1*.

Tabela 3.1 - Caracterização da Etapa 1 – Descarga

Setor	Cargas e Descargas 1 - Descarga					
Zona	Cargas e Descargas					
Área	36 m ²					
Responsáveis	3 Colaboradores					
Equipamentos	Ponte Rolante (5 Ton.)					
Caracterização	<i>Nº de Remessa</i>	<i>Qtd por remessa</i>	<i>Descrição</i>	<i>Kg/6m</i>	<i>Massa total (kg)</i>	<i>Duração Total</i>
	2	100	Barra 70x10 (6m)	33	3300	
		300	Varão Ø10 (6m)	3,72	1116	

Etapa 2 - Armazenamento

Após o abastecimento de matérias-primas, barras e varões de aço, parte da equipa encarrega-se de acondicionar parte do material na zona dedicada ao armazenamento de matérias-primas. A zona referida é denominada de zona de armazenamento, e destina-se ao acondicionamento e organização de matérias-primas.

A operação de acomodação e organização é realizada por uma equipa com dois elementos e a ponte rolante. As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.2*.

Tabela 3.2 - Caracterização da Etapa 2 - Armazenamento

Setor	Armazenamento 2					
Zona	Armazenamento					
Área	60 m ²					
Responsáveis	2 Colaboradores					
Equipamentos	Ponte Rolante			Trabalho Manual		
Caracterização	<i>Capacidade</i>	<i>Velocidade de elevação (m/min.)</i>		<i>Dimensão dos lotes</i>		<i>Duração Total</i>
	5 Ton.	Min.	Máx.	Barras	Varões	
		2	8	1	10	

Etapa 3 - Corte

O primeiro processo de fabrico, o corte, dá-se no setor de corte. Esta área encontra-se dividida em duas estações de trabalho, *Figura 3.8*, tendo cada estação seus equipamentos e respetivos operadores. Tanto a estação de corte 1 com a estação de corte 2 possuem um

serrote mecânico de fita semiautomático com uma transportadora de rolos associada. A estação de corte 1 possui ainda um serrote de disco de operação manual.

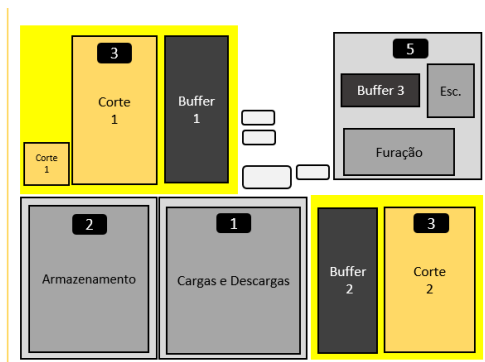


Figura 3.8 - Localização do Setor de Corte.

A operação de corte é antecedida pela movimentação das barras e varões de aço com 6 metros de comprimento para *buffers*, estes são espaços dedicados ao acondicionamento temporário de artigos antes e após operações. O destino desta operação preliminar são os *buffers* 1 e 2 cuja constituição é, na maioria dos casos, um conjunto de paletes ou traves de madeira dispostos no chão de fábrica prontos a acomodar artigos entre etapas produtivas.

A tarefa é realizada por dois colaboradores com o auxílio do guindaste da ponte rolante, sendo um elemento responsável por operar a ponte rolante e o segundo por apoiar a carga suspensa. No *buffer* 1 são depositadas barras e varões enquanto o *buffer* 2, associado ao serrote 2, recebe apenas barras. As características destes espaços encontram-se descritas na *Tabela 3.3* e *Tabela 3.4*.

Tabela 3.3 - Características do *Buffer* 1.

Setor	Armazenamento Temporário B1 - Movimentação	
Zona	Buffer 1	
Área	9 m ²	
Responsáveis	2 Colaboradores	
Equipamentos	Paletes e Barrotes	Ponte Rolante (5 Ton.)

Tabela 3.4 - Características do *Buffer* 2.

Setor	Armazenamento Temporário B2 - Movimentação	
Zona	Buffer 2	
Área	9 m ²	
Responsáveis	2 Colaboradores	
Equipamentos	Paletes e Barrotes	Ponte Rolante (5 Ton.)

Para dar início ao processo de corte dois colaboradores alimentam as transportadoras de rolos dos serrotes de corte com as matérias a cortar, sendo de seguida desencadeado o processo de corte através da operação dos serrotes. Os serrotes mecânicos 1 e 2 são serrotes de fita e têm um funcionamento semiautomático associado a um sistema hidráulico.

Os serrote mecânicos de fita são destinados ao corte de barras enquanto o serrote de disco, situado na estação de corte 1, é utilizado para o corte de varões. Este equipamento, operado manualmente por um colaborador, realiza os cortes mais simples de forma mais expedita.

A operação de corte é realizada por dois elementos. As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.5*, *Tabela 3.6* e *Tabela 3.7*.

Tabela 3.5 - Características da Etapa 3 - Setor de Corte I.

Setor	Corte 3				
Zona	Corte 1				
Área	30 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador				
Equipamentos	Serrote de Fita 01 - MAKIMAK B-360				
Caracterização	<i>V.Corte (m/min.)</i>	<i>Dimensão da Fita (mm)</i>	<i>Altura de trabalho</i>	<i>Dimensões (mm)</i>	<i>Peso (kg)</i>
	20-100	4800x34x1.1	860	2650x1210x1870	1390
Tempos	<i>Setup</i>	<i>Alimentação</i>	<i>Execução</i>	<i>Acondicionamento</i>	
	30s	30s	60s	10s	

Tabela 3.6 - Características da Etapa 3 - Setor de Corte II.

Setor	Corte 3				
Zona	Corte 3				
Área	8 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador				
Equipamentos	Serrote de Disco Manual (TOMET - T 250)				
Caracterização	<i>V.Corte (m/min.)</i>	<i>Dimensão da lâmina (mm)</i>	<i>Altura de trabalho</i>	<i>Dimensões (mm)</i>	<i>Peso (kg)</i>
	25-50	250x32x2.0	865 mm	900x750x1450	160
Tempos	<i>Setup</i>	<i>Alimentação</i>	<i>Execução</i>	<i>Acondicionamento</i>	
	30s	10s	12s	10s	

Tabela 3.7 - Características da Etapa 3 - Setor de Corte III.

Setor	Corte 3				
Zona	Corte 2				
Área	30 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador				
Equipamentos	Serrote de Fita 02 - MAKIMAK ST440DGH				
Caracterização	<i>V.Corte (m/min.)</i>	<i>Dimensão da Fita (mm)</i>	<i>Altura de trabalho</i>	<i>Dimensões (mm)</i>	<i>Peso (kg)</i>
	20-100	5200x34x1.1	860 mm	2800x1210x1870	1500
Tempos	<i>Setup</i>	<i>Alimentação</i>	<i>Execução</i>	<i>Acondicionamento</i>	
	30s	30s	60s	10s	

A operação de corte é seguida pelos operadores cumprindo as exigências das folhas de obra que acompanham o processo produtivo. Após o processo de corte os elementos cortados são transferidos para carros com arrumação, no caso de elementos mais curtos, ou para *buffers*, no caso e elementos mais longos.

As características destes espaços encontram-se descritas na *Tabela 3.8* e *Tabela 3.9*.

Tabela 3.8 - Características do Buffer B1.

Setor	Armazenamento Temporário B1 - Descarga
Zona	Buffer 1
Área	9 m ²
Responsáveis	1 Colaborador
Equipamentos	Paletes e Barrotes

Tabela 3.9 - Características do Buffer B2.

Setor	Armazenamento Temporário B2 - Descarga
Zona	Buffer 2
Área	9 m ²
Responsáveis	1 Colaborador
Equipamentos	Paletes e Barrotes

Etapa 4 - Desempeno e Limagem

Após o corte e operações de movimentação é habitual a verificação de pequenos empenos assim como da existência de aparas e arestas irregulares nas peças trabalhadas. De forma a mitigar esses defeitos e desvios criou-se uma estação de trabalho central com ferramentas destinadas ao desempeno e limagem de peças.

A estação de desempenos e limagem ocupa uma posição central no chão do PEM. A localização foi escolhida de modo que esta pudesse ser visitada sempre que necessário durante o processo de construção metálica. Este lugar é composto por duas bancadas de trabalho que acomodam um torno de bancada, uma bigorna e ferramentas auxiliares ao processo de desempeno e limagem.

As características destes espaços encontram-se descritas na *Tabela 3.10*.

Tabela 3.10 - Características da etapa 4.

Setor	Desempeno e Limagem 4			
Zona	Desempeno e Limagem			
Área	4 m ²			
Responsáveis	1 Colaborador			
Equipamentos	Desempeno		Limagem	
Caracterização	Martelo	Bigorna	Lima de Aço	Rebarbadora
Probabilidades	<i>Inspecionados</i>	<i>Intervencionados</i>	<i>Limados</i>	<i>Desempenados</i>
	100%	75%	80%	15%
Tempos	<i>Inspecionar</i>	<i>Limar</i>		<i>Desempenar</i>
	10s	10s		20s

Após o corte, os operadores encarregam-se da movimentação dos elementos cortados até à estação de desempeno e limagem para procederem a essas operações nos elementos que o necessitem. Esta movimentação faz-se através do uso de carrinhos ou de forma manual. Após proceder ao controlo e correção de anomalias os elementos são reacondicionados nos carros de transporte e movimentados para a etapa de produção seguinte.

Etapa 5 - Puncionamento e Escareamento

Após o processo de controlo, os elementos de barras devidamente cortados são transportados para a zona de puncionamento onde serão processados. O setor de puncionamento é composto por uma puncionadora, um engenho de furar e pelo *buffer 3*, estando estes elementos à disposição de um operário. Esta estação localiza-se numa zona adjacente à estação de corte 2 e dedica-se aos processos de puncionamento e escareamento. Até serem trabalhados, os elementos de varão passam por uma fase de imobilização no *buffer 3*.

As características destes espaços encontram-se descritas na *Tabela 3.11*.

Tabela 3.11 - Características do Buffer 3.

Setor	Armazenamento Temporário B3
Zona	Buffer 1
Área	3 m ²
Responsáveis	1 Colaborador
Equipamentos	Paletes, Barrotes e Carrinhos

Nesta etapa do processo os responsáveis pela operação de desempenho e limagem passam os elementos de barra cortados ao responsável pelo processo de puncionamento. A este elemento da equipa é também transmitida a folha de obra da “remessa”.

A operação de puncionamento é executada na puncionadora pelo operário seguindo as indicações das quantidades e características dos furos Ø8 a realizar. Após o puncionamento da remessa de elementos de barra, estes são transferidos manualmente para o engenho de furar equipado com uma broca M16. Neste equipamento é realizado o escareamento das furações que assim o exigem.

As operações de puncionamento e escareamento são realizadas por dois colaboradores, sendo que, em muitos dos casos o colaborador encarregue de desempenar e limar realiza também o puncionamento. As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.12* e na *Tabela 3.13*.

Tabela 3.12 - Características da Etapa 5 - Puncionamento.

Setor	Puncionamento e Escareamento 5				
Zona	Puncionamento				
Área	8 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador				
Equipamentos	Puncionadora 01 - DURMA IW80BTD				
Caracterização	<i>Potência (kW)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Dimensões (mm)</i>	<i>Pressão de Puncionamento</i>	
	11	2530	2120x2125x1780	80 ton.	
Tempos	<i>Setup Principal</i>	<i>Setup Secundário</i>	<i>Alim.</i>	<i>Execução</i>	<i>Acond.</i>
	120s	30s	10s	3s	5s

Tabela 3.13 - Características da Etapa 5 - Escareamento.

Setor	Puncionamento e Escareamento 5			
Zona	Escareamento			
Área	2 m ²			
Responsáveis	1 Colaborador			
Equipamentos	Engenho de Furar 01 - BELFLEX TEG - 40CA			
Caracterização	<i>Potência (kW)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Dimensão da mesa de trabalho</i>	<i>Velocidade (r.p.m.)</i>
	1.5	615	560x560	50-1450
Tempos	<i>Setup</i>	<i>Alimentação</i>	<i>Execução</i>	<i>Acondicionamento</i>
	120s	8s	10s	5s

Caso se verifiquem aparas ou imperfeições é executada a lixagem de forma a melhorar o acabamento do produto.

Etapa 6 - Pré-Montagem

Realizados os processos de furação o colaborador encarregue movimenta, com a ajuda de um carrinho, os elementos trabalhados até à estação de trabalhos que se propõe, onde ficarão imobilizados no buffer 4. As características deste espaço encontram-se descritas na *Tabela 3.14*.

Tabela 3.14 - Características do buffer 4.

Setor	Armazenamento Temporário B4
Zona	Buffer 1
Área	3 m ²
Responsáveis	1 Colaborador
Equipamentos	Paletes, Barrotes e Carrinhos

Após a transformação dos elementos individuais da guarda estão reunidas as condições para se iniciar a montagem da estrutura metálica no setor de Pré-Montagem. Esta é a zona de trabalho de um soldador encarregue de soldar localmente os elementos de barra e varão, aplicando pingos de solda no local das futuras uniões soldadas.

Esta estação de trabalho dedica-se à soldadura de elementos cortados e furados e é composta por 2 cavaletes, um molde, uma bancada de trabalho e um equipamento de soldar MIG. Neste espaço opera 1 colaborador que, em caso de necessidade, opera a ponte rolante em operações de manuseamento da estrutura a trabalhar.

As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.16* e na *Tabela 3.15*.

Tabela 3.15 - Características da Etapa 6 - Setor de Pré-Montagem I.

Setor	Pré-Montagem 6		
Zona	Movimentação		
Área	X		
Responsáveis	1 Colaborador		
Equipamentos	Ponte Rolante		
Caracterização	<i>Capacidade</i>	<i>Velocidade de elevação (m/min.)</i>	
	5 Ton.	Min.	Máx.
		2	8

Tabela 3.16 - Características da Etapa 6 - Setor de Pré-Montagem II.

Setor	Pré-Montagem 6				
Zona	Soldadura				
Área	32 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador				
Equipamentos	Máquina de Soldar MIG 1 - ESAB C340 PRO4WD				
Caracterização	Condições de funcionamento	Vel. de alim do fio (m/min.)	Eficiência	Peso (kg)	Dimensões
	400-415 V, 3~50/60 Hz 380V, 3~50/60 Hz	1.9 - 20	77%	114	840x425x 830
Tempos	Construção do molde	Manobra da Ponte Rolante	Alim.	Execução	Acond.
	2h a 3h	1 min.	3 min.	15 min.	1 min.

A geometria padrão característica das guardas metálicas permite a criação de um molde de posicionamento, *Figura 3.9*, que auxilia e agiliza o processo de montagem da estrutura. A atividade de soldadura local exige um trabalho prévio que envolve medições e marcações. Esta atividade manual é realizada pelo operador com o auxílio das ferramentas de medição, marcação e contenção.

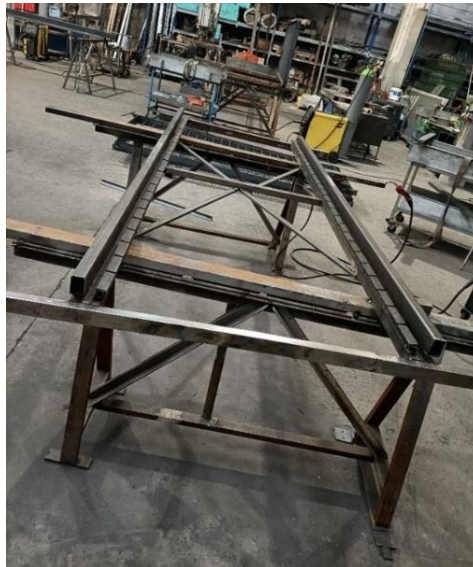


Figura 3.9 - Molde de pré-montagem.

Após a pré-montagem a estrutura é retirada do molde, com o auxílio da ponte rolante, é realizado um controlo rápido de dimensões e posições. Da mesma forma a estrutura pré-soldada é movimentada para uma zona lateral que constitui o buffer 5. As características deste espaço encontram-se descritas na *Tabela 3.17*.

Tabela 3.17 - Características do Buffer 5.

Setor	Armazenamento Temporário B5
Zona	Buffer 5
Área	4,5 m ²
Responsáveis	1 Colaborador
Equipamentos	Paletes, Barrotes

Etapa 7 - Soldadura e Controlo

Na etapa seguinte a responsabilidade pela estrutura pré-montada passa para um segundo colaborador, responsável pela soldadura definitiva da guarda. Este colaborador encarrega-se de movimentar a estrutura pré-montada para a estação de Soldadura, com a ajuda da ponte rolante, e procede à sua imobilização e fixação.

A estação é constituída por 2 cavaletes, um equipamento de soldar MIG, uma bancada e uma mesa de trabalho. As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.18* e na *Tabela 3.19*.

Tabela 3.18 - Características da Etapa 7 - Setor de Soldadura I.

Setor	Soldadura e Controlo 7				
Zona	Soldadura				
Área	42 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador				
Equipamentos	Máquina de Soldar MIG 1 - ESAB C340 PRO4WD				
Caracterização	<i>Condições de funcionamento</i>	<i>Vel. de alim do fio (m/min.)</i>	<i>Eficiência</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Dimensões (mm)</i>
	400-415 V, 3~50/60 Hz 380V, 3~50/60 Hz	1.9 - 20	77%	114	840x425x830
Tempos	<i>Setup</i>	<i>Manobra da Ponte Rolante</i>	<i>Alim.</i>	<i>Execução</i>	<i>Acond.</i>
	1 min.	1,5 min.	0,5 min.	70 min.	0,5 min.
Controlo	<i>Probabilidade de intervenção</i>	20%	<i>Duração da intervenção</i>	1,5 min.	

Tabela 3.19 - Características da Etapa 7 - Setor de Soldadura II.

Setor	Soldadura e Controlo 7		
Zona	Movimentação		
Área	X		
Responsáveis	1 Colaborador		
Equipamentos	Ponte Rolante		
Caracterização	<i>Capacidade</i>	<i>Velocidade de elevação (m/min.)</i>	
	5 Ton.	Min.	Máx.
		2	8

Neste local opera um soldador, esta realizada a soldadura definitiva e aplica os cordões de soldadura completos. Esta operação, mais precisa, exige o manuseamento e posicionamento da estrutura, executado com o auxílio da ponte rolante.

Completada a operação de soldadura procede-se à movimentação da estrutura soldada para uma área adjacente, a estação de controlo

A estação de controlo é um espaço amplo situado diante a estação de soldadura e é constituída por dois cavaletes. Neste local é efetuado, pelo soldador do posto anterior, o controlo de dimensões e acabamento das guardas que o necessitarem. Nesta etapa são também corrigidos empenos e conferidas dimensões, fazendo uso de martelo e fita métrica.

Após o aval do colaborador este movimenta a estrutura soldada e inspecionada para o *Buffer 6*, onde se irão acumular 10 estruturas. As características deste espaço encontram-se descritas na *Tabela 3.20*.

Tabela 3.20 - Características do *Buffer 6*.

Setor	Armazenamento Temporário B6
Zona	Buffer 6
Área	4,5 m ²
Responsáveis	1 Colaborador
Equipamentos	Paletes, Barrotes

Etapa 8 – Movimentação e Transporte

Quando se completa a capacidade de arrumação do Buffer 6, um colaborador procede à movimentação de remessas de 5 guardas, com o auxílio de um porta paletes, para a zona de Cargas e Descargas, do pavilhão de Estruturas Metálicas.

Nesta zona, o colaborador em causa, que é habitualmente o operador do empilhador, procede ao acondicionamento da carga no empilhador, que transporta as estruturas para o Pavilhão de Tratamentos de Superfícies onde se dará continuação ao processo.

As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.21*.

Tabela 3.21 - Características da Etapa 8 - Setor de Cargas e Descargas.

Setor	Cargas e Descargas 1 - Carregamento						
Zona	Cargas e Descargas						
Área	36 m ²						
Responsáveis	1 Colaborador						
Equipamentos	Ponte Rolante			Empilhador - Manitou MSI 50T			
Caracterização	Capacidade	Velocidade de elevação (m/min.)		Lotes	Capacidade de carga	Duração Total	Velocidade
	5 Ton.	Min. 2	Máx. 8	5 Guardas	5 Ton.	3 min. + 1 min.	22 km/h

Pavilhão de Tratamentos de Superfície

Equipas de Trabalho e Layout

Terminada a construção das guardas metálicas surge a necessidade de proteger o produto através da aplicação de tratamentos exigidos e especificados pelo cliente. Esta fase da produção visa criar uma barreira física entre o aço que compõe a estrutura e as condições adversas, pretendendo-se salvaguardar a guarda dos elementos naturais e das condições da sua utilização.

De forma a aplicar os tratamentos referidos há que transitar para uma segunda localização. Depois de abandonar o PEM as guardas são transportadas para o Pavilhão de Tratamentos de Superfície (PTS), *Figura 3.10*, também nas imediações da empresa.



Figura 3.10 - Pavilhão de Tratamentos de Superfície.

Este pavilhão possui um layout bem definido e fixo, esquematizado na *Figura 3.11*.

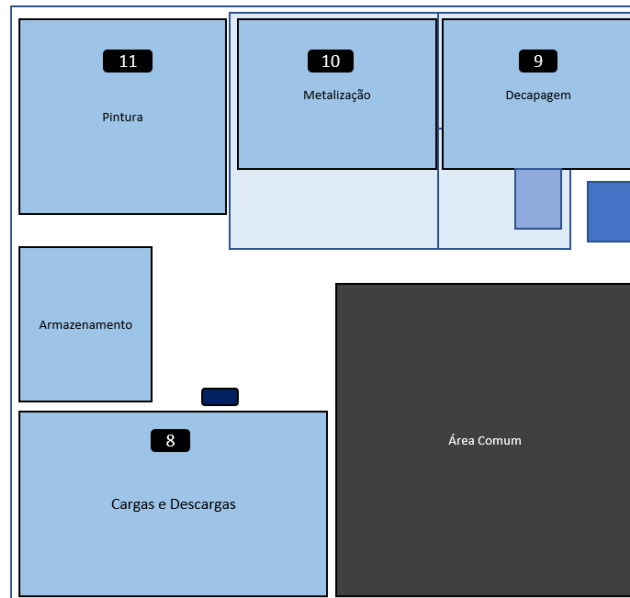


Figura 3.11 – Layout do PTS.

O departamento responsável pelos trabalhos de tratamentos de superfície é constituído pela equipa de trabalhos de tratamentos de superfície. Esta é formada por dois colaboradores sendo esporadicamente incorporada por um terceiro elemento que auxilia no processo de movimentação de cargas.

O PTS manteve a configuração inicial, não tendo sofrido qualquer alteração de layout. A disposição deste espaço conta com 4 setores de trabalho e 1 *buffer* multifacetado denominado de Área Comum, como representado na *Figura 3.11*. De maneira a clarificar os espaços constituintes deste chão de fábrica vai proceder-se à caracterização dos mesmos.

Este pavilhão será o local onde será realizada a fase final do processo de produção em estudo e é neste que se dará a continuação do processo a descrever.

Fase 3 – Tratamentos de Superfícies

Etapa 9 - Acondicionamento

Posteriormente aos trabalhos de construção, o operador do empilhador encarrega-se de transportar e descarregar a remessa de guardas na zona de Cargas e Descargas do pavilhão de tratamentos de superfície.

Nesta etapa dá-se uma interação com colaborador responsável e é transmitida a folha de obra em causa. A operação de descarregamento é realizada por dois elementos. As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.22*.

Tabela 3.22 - Características da Etapa 9 - Descarga.

Setor	Cargas e Descargas 8 - Descarga					
Zona	Cargas e Descargas					
Área	54 m ²					
Responsáveis	1 Manobrador + 1 Colaborador					
Equipamentos	Porta Paletes			Empilhador - Manitou MSI 50T		
Caracterização	Capacidade de carga	Peso	Lotes	Capacidade de carga	Duração Total	Velocidade
	3000 kg	70 kg	5 Guardas	5 Ton.	2 min.	22 km/h

Esta Área Comum possui 40 m²e está dividida em 5 repartimentos, de acordo com os artigos que acolhem, mediante a fase produtiva que representam. Estes repartimentos estão distribuídos em série sendo que os repartimentos que recebem o produto menos trabalhado estão mais próximos dos postos de trabalho e os repartimentos que recebem o produto mais processado estão mais próximos da saída do pavilhão, como esquematizado na *Figura 3.12*.



Figura 3.12 - Repartimentos da Área Comum.

A descarga de guardas soldadas provenientes do PEM dá-se diretamente para o primeiro repartimento. As características deste espaço encontram-se descritas na *Tabela 3.23*

Tabela 3.23 - Características do Repartimento 1.

Setor	Área Comum R1
Zona	Repartimento 1
Área	8 m ²
Responsáveis	1 Colaborador + 1 Colaborador Auxiliar
Equipamentos	Paletes, Divisórias e Espaçadores

Etapa 10 - Decapagem

A primeira etapa do processo que respeita o tratamento de superfícies é a operação de decapagem. Este processo dá-se na Câmara de Decapagem que possui as condições e equipamentos próprios para a execução do mesmo.

A estação de decapagem é constituída por uma câmara de decapagem que, para além de possuir alimentação elétrica e de ar comprimido, é também incorporada por um sistema de carris, que auxilia a movimentação de elementos a decapar. Existem, já no interior da estufa, um equipamento de decapagem e, numa divisão anexa, um sistema independente de recolha e alimentação de gralhas.

Este espaço é ocupado por um colaborador encarregue de operar a maquinaria. O colaborador tem à sua disposição um conjunto de EPI's e a formação necessária para desempenhar funções.

Primeiramente o responsável pela decapagem faz a recolha das guardas a decapar e movimenta-as do repartimento 1 até ao sistema de carris da estufa de decapagem. O sistema de carris providencia um guiamento e auxilia a introdução de vários produtos na estufa de decapagem. Depois de carregado o carro da decapagem este é empurrado para o interior da estufa onde se realizará o processo. A operação de decapagem é realizada por um colaborador. As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.24*.

Tabela 3.24 - Características da Etapa 10 - Decapagem.

Setor	Decapagem 9				
Zona	Decapagem				
Área	56 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador + 1 Colaborador Auxiliar				
Equipamentos	Câmara de Decapagem			Sist. Carris	
Caracterização	Sistema de Recolha de Gralha	Sistema de Tratamento e Filtragem de Gralha	Sistema de Projeção de Gralha	Carga	Curso
				5 Guardas	10 m
Tempos	Recolha	Alimentação	Equip.	Execução	Acond.
	2 min.	5 min.	30 s	100 min.	6 min.

O operador, devidamente protegido, inicia o processo de decapagem no interior da estufa selada.

Nesta fase o produto é atingido por elementos de granalha projetados que removem ferrugem, tinta ou outras quaisquer impurezas que existam na superfície do objeto metálico. Esta operação de tratamento de superfícies consiste na propulsão de um fluxo de material abrasivo a alta velocidade contra a superfície a tratar, erodindo o corpo e removendo contaminantes

No final do processo o carro é novamente empurrado até ao exterior e, com a ajuda de um segundo colaborador, os artigos já decapados são transportados num porta paletes para a repartição 2 onde aguardarão o próximo procedimento. As características deste espaço encontram-se descritas na *Tabela 3.25*.

Tabela 3.25 - Características do Repartimento 2.

Setor	Área Comum R2
Zona	Repartimento 2
Área	8 m ²
Responsáveis	1 Colaborador + 1 Colaborador Auxiliar
Equipamentos	Paletes, Divisórias e Espaçadores

Etapa 11 - Metalização

A segunda etapa do processo que respeita o tratamento de superfícies é a operação de metalização. Este processo realiza-se no setor de metalização que se localiza na vizinhança do anterior setor de decapagem. A estufa de metalização está devidamente equipada e integra dois cavaletes, os equipamentos de proteção individual do operador e o equipamento metalizador alimentado de corrente elétrica e ar comprimido. Nesta estação trabalha um colaborador responsável pelo processo, sendo habitualmente a mesma pessoa que realiza a decapagem.

Assim que reunidas as condições dá-se início ao processo de metalização. Os artigos decapados são movimentados para o interior da câmara. Dois colaboradores e um porta paletes mobilizam os artigos a metalizar para o seu interior. Seguidamente procede-se ao equipamento do operador e à celagem da estufa. Nesta fase o produto é acondicionado e os equipamentos de metalização são acionados, estando reunidas as condições para implementar o tratamento de metalização.

O conceito raiz da metalização é a pulverização de metais fundidos na superfície dos corpos a proteger. Neste processo, o metal de revestimento, sob forma de arame ou pó, é aquecido por fenómenos de plasma/arco elétrico ou chama, e é, ultimamente, projetado por um meio propulsor, habitualmente ar comprimido, que impele as partículas fundidas de encontro à superfície do substrato. Este tratamento pressupõe sempre um tratamento de preparação prévio (decapagem), e tem como principais funções a proteção anti desgaste, proteção anti corrosão ou fins decorativos, aumentando a vida útil dos ativos.

As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.26*.

Tabela 3.26 - Características da Etapa 11 - Metalização.

Setor	Metalização 10				
Zona	Metalização				
Área	40 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador + 1 Colaborador Auxiliar				
Equipamentos	Câmara de Metalização				
Caracterização	Sistema de Projeção e Fusão de Zinco	Cavaletes, Bancadas e Divisórias		Sistema de Iluminação	
Tempos	<i>Recolha</i>	<i>Alimentação</i>	<i>Equip.</i>	<i>Execução</i>	<i>Acond.</i>
	2 min.	5 min.	30 s	75 min.	6 min.

No final do processo os artigos são removidos da câmara e movimentados para o repartimento 3 onde repousarão por um período. As características deste espaço encontram-se descritas na *Tabela 3.27*.

Tabela 3.27 - Características do Repartimento 3.

Setor	Área Comum R3
Zona	Repartimento 3
Área	8 m ²
Responsáveis	1 Colaborador + 1 Colaborador Auxiliar
Equipamentos	Paletes, Divisórias e Espaçadores

Etapa 12 – Pintura - Aplicação de Primário

A terceira etapa do processo que respeita o tratamento de superfícies é a operação de pintura, mais especificamente a primeira demão de primário. Este processo realiza-se no setor de pintura que possui um operário exclusivamente dedicado à função.

O setor de pintura é composto exclusivamente pela estufa de pintura. Neste local são aplicadas, por um colaborador, as demãos de pintura necessárias aos elementos. Este procedimento realiza-se com o objetivo de minimizar possíveis defeitos e preparar a superfície para receber a pintura. Os primários garantem uma melhor aderência do acabamento à estrutura, uniformizam a absorção da tinta e atuam como barreira impedindo que a alcalinidade ataque a pintura. As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.28*.

Tabela 3.28 - Características da Etapa 12 - Aplicação de Primário.

Setor	Pintura 11 - Aplicação de Primário				
Zona	Pintura				
Área	52 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador + 1 Colaborador Auxiliar				
Equipamentos	Estufa de Pintura				
Caracterização	Sistema de extração e tratamento de ar	Sistema de alimentação de ar comprimido e pistola de pintura	Cavaletes, Carrinhos, Bancadas e Divisórias	Sistema de Iluminação	
Tempos	<i>Recolha</i>	<i>Alimentação</i>	<i>Equip.</i>	<i>Execução</i>	<i>Acond.</i>
	2 min.	5 min.	30 s	75 min.	2,5 min.

No final do processo os artigos são removidos da estufa e movimentados para o repartimento 4 da Área Comum, onde repousarão um tempo especificado de secagem. As características deste espaço encontram-se descritas na *Tabela 3.29*.

Tabela 3.29 - Características do Repartimento 4

Setor	Área Comum R4
Zona	Repartimento 4
Área	8 m ²
Responsáveis	1 Colaborador + 1 Colaborador Auxiliar
Equipamentos	Paletes, Divisórias e Espaçadores

Etapa 13 - Pintura - Aplicação de Acabamento

A etapa seguinte é a operação final de pintura, mais especificamente uma demão de tinta de acabamento. Este processo é em muito semelhante ao processo de aplicação do primário, embora nesta fase o produto a aplicar seja a tinta definida pelo cliente. Tal como no caso anterior é necessário proceder à recolha e movimentação dos artigos, bem como a seleção e introdução da tinta e diluente a utilizar.

A pintura é a técnica de proteção anticorrosiva mais utilizada para a promoção de proteção de metais na indústria, preservando as estruturas e aumentando a vida útil das mesmas. Esta técnica possui inúmeras valências, sendo algumas das mais atraentes a facilidade de aplicação e a relação custo-benefício.

As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.30*.

Tabela 3.30 - Características da Etapa 13 - Aplicação de Tinta.

Setor	Pintura 11 - Aplicação de Acabamento				
Zona	Pintura				
Área	52 m ²				
Responsáveis	1 Colaborador + 1 Colaborador Auxiliar				
Equipamentos	Estufa de Pintura				
Caracterização	Sistema de extração e tratamento de ar	Sistema de alimentação de ar comprimido e pistola de pintura	Cavaletes, Carrinhos, Bancadas e Divisórias	Sistema de Iluminação	
Tempos	<i>Recolha</i>	<i>Alimentação</i>	<i>Equip.</i>	<i>Execução</i>	<i>Acond.</i>
	2 min.	5 min.	30 s	75 min.	2,5 min.

Após o término do processo repete-se o procedimento de movimentar e acomodar os artigos finalizados, para a Área Comum onde ficarão por um período de espera definido. As características deste espaço encontram-se descritas na *Tabela 3.31*.

Tabela 3.31 - Características da Repartimento 5.

Setor	Área Comum R5
Zona	Repartimento 5
Área	8 m ²
Responsáveis	1 Colaborador + 1 Colaborador Auxiliar
Equipamentos	Paletes, Divisórias e Espaçadores

Fase 4 – Expedição e Transporte

Etapa 14 - Acondicionamento e Transporte

Terminado o tempo de repouso encerra-se o processo produtivo com o acondicionamento do produto acabado em cavaletes próprios. Este processo é executado por dois colaboradores que, com os devidos cuidados, acondicionam e protegem as guardas dos possíveis danos a ocorrer no processo de carregamento e transporte.

Assim que reunida a quantidade especificada de cavaletes, ou por ordem de intermediários é realizado o carregamento dos cavaletes para o caminhão de serviço. Toda a operação é executada por 2 elementos, o condutor do veículo que tem o conhecimento do acondicionamento e o manobrador do empilhador responsável pelo carregamento.

O transporte das guardas até ao local de instalação é assegurado por um veículo, na maior parte das ocasiões um caminhão de 3 eixos

As características desta etapa produtiva encontram-se descritas na *Tabela 3.32*.

Tabela 3.32 - Características da Etapa 14 - Carregamento e Transporte.

Setor	Cargas e Descargas 8 - Carregamento						
Zona	Cargas e Descargas						
Área	54 m ²						
Responsáveis	1 Manobrador + 1 Condutor						
Equipamentos	Camião - MAN TGX 26.420			Empilhador - Manitou MSI 50T			
Caracterização	Peso	Potência	Espaço de carga	Lotes	Capacidade e de carga	Duração Total	Velocidade
	26 Ton	420 cv	7,85x2,49x2,6 (m)	5 Guardas	5 Ton.	1 h	22 km/h
	Carregamento completo de Guardas			14 guardas x 4 cavaletes = 56 guardas			
Tempos	Carregamento			Viagem			
	1h			3h			

3.3 Identificação dos problemas/desafios

Neste estudo vão-se identificar problemas/desafios no processo produtivo e tentar colmatá-los de forma adequada. A ferramenta escolhida para concretizar esse exercício foi a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), mais especificamente a FMEA aplicada ao estudo de processos, a PFMEA.

3.3.1 Construção da PFMEA

A criação da PFMEA iniciou-se com a sintetização da informação descrita anteriormente, seguida da composição de tabelas resumo das atividades que constituem cada etapa de trabalho e respetivos modos de falha. A atribuição dos efeitos dos modos de falha realizou-se de acordo com as categorias pré-definidas na *Tabela 3.33*.

Tabela 3.33 - Categorias dos Efeitos de Modo de Falha.

Categorias dos Efeitos de Modo de Falha
Improdutividade
Desperdício de Recursos
Segurança/Saúde
Baixa Qualidade e Pobre Acabamento

Neste processo foram depois avaliados parâmetros como a probabilidade de ocorrência dos eventos, a severidade do seu impacto no processo produtivo e a dificuldade em serem detetados, atribuindo-se valores quantitativos aos fatores de acordo com os critérios enunciados nas tabelas (*Tabela 2.3, Tabela 2.5 e Tabela 2.6*).

De forma a facilitar a análise dos três fatores de risco utilizaram-se os códigos tricolor enunciados na *Tabela 3.34*.

Tabela 3.34 - Código de risco tricolor.

1 a 3	4 a 7	8 a 10
Baixo	Moderado	Alto

Por fim, calculando o número de prioridade de risco (RPN) através da equação nº2.8, caracterizaram-se os modos de falha de acordo com a *Tabela 3.35*.

Tabela 3.35 - Classificação dos modos de falha segundo o RPN.

RPN	Risco	Código de cor
1 a 63	Baixo	
64 a 200	Moderado	
201 a 500	Alto	
501 a 1000	Muito Alto	

Segue abaixo o exercício de avaliação e análise de modos e efeitos de falha do posto de Preparação

Preparação

A primeira etapa analisada foi a Preparação, a qual foi fracionada em 7 operações resultando em 10 modos de falha encontrados.

Tabela 3.36 - PFMEA - Preparação (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Preparação	Desenho 2D e 3D	Falta de informação nos desenhos
		Desenhos incorretos (erros e incongruências)
	Listagem de materiais	Lista de materiais incompleta ou errada
	Orçamentação	Erro de orçamentação
	Concurso/Adjudicação	Erro no concurso
	Encomenda de matérias-primas	Encomenda tardia
		Engano na encomenda (quantidade ou conteúdo)
	Síntese de processos de fabrico	Escolha de processo desadequado
	Gestão de ativos e equipas	Briefing pouco esclarecedor (tarefas mal definidas)
		Briefing inexistente

Após caracterização dos fatores de risco conclui-se que existem dois modos de falha preocupantes nesta etapa produtiva, sendo que um apresenta um risco de nível moderado e o outro apresenta um risco de nível alto.

Tabela 3.37 - PFMEA - Preparação (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Falta de informação nos desenhos	Improdutividade	7	2	3	42
Desenhos incorretos (erros e incongruências)	Improdutividade / Desperdício de Recursos	8	6	5	240
Lista de materiais incompleta ou errada	Improdutividade / Desperdício de Recursos	2	6	3	36
Erro de orçamentação	Improdutividade	1	5	6	30
Erro no concurso	Crítico (impossibilita a concretização do contrato)	1	10	7	70
Encomenda tardia	Improdutividade	3	5	3	45
Engano na encomenda (quantidade ou conteúdo)	Improdutividade / Desperdício de Recursos	2	6	4	48
Escolha de processo desadequado	Improdutividade / Desperdício de Recursos	1	5	4	20
Briefing pouco esclarecedor (tarefas mal definidas)	Improdutividade / Deperdício de Tempo / Segurança	3	5	2	30
Briefing inexistente	Improdutividade / Deperdício de Tempo / Segurança	2	7	2	28

Conclui-se que nesta etapa a operação que merece maior atenção é a “Desenhos 2D e 3D”. Esta operação tem associada o modo de falha “Desenhos incorretos (erros e incongruências)” que, tendo níveis de severidade e detetabilidade moderados, possui uma taxa de ocorrência bastante considerável, perfazendo um RPN de 240 e, tendo, por conseguinte, um alto risco associado.

A operação “Concurso/Adjudicação” tem associada o modo de falha “Erro no concurso”, este apesar de possuir muito baixa probabilidade de ocorrência (1), tem um índice de severidade muito significativo (10) associado a uma baixa detetabilidade (7). As consequências deste modo de falha podem levar à perda de uma oportunidade de negócio que leva à inexistência de atividade e de lucros associados, culminando num custo de oportunidade perdida muito significativo.

Esse exercício foi replicado para cada uma das 14 etapas produtivas tendo sido identificados um total de 210 modos de falha no sistema produtivo estudado.

3.3.2 Conclusões Intermédias

Da análise de modo e efeito de falha ao processo de fabrico estudado retiram-se as seguintes conclusões:

- Analisaram-se 14 etapas produtivas, desdobradas em 71 operações individuais onde foram detetados 210 modos de falha possíveis.
- Quanto à prioridade de risco dos modos de falha detetados, conclui-se que 50% destes possui um número de prioridade de risco moderado, de acordo com o modelo de classificação assumido, sendo por isso alvos prioritários de intervenção com a finalidade de minimizar o risco. Apenas 2 modos de falha cumpriram os critérios de classificação de alto risco, perfazendo menos de um ponto percentual dos modos de falha estudados. Estes últimos têm carácter de urgência máximo devendo ser atacados de imediato.
- A ocorrência de modos de falha foi manifestamente baixa, contabilizando-se cerca de 60% de episódios com esse nível de ocorrência. Este facto leva a concluir que cerca de 3 em cada 5 eventos de possível falha dificilmente se concretizam. Por outro lado, constatou-se que 10 modos de falha possuem alta probabilidade de ocorrência, merecendo este uma análise mais aprofundada e uma intervenção imediata.
- O critério de severidade revelou que mais de 70% dos modos de falha analisados possuem uma severidade moderada ou alta. Dado o setor em que se insere este processo produtivo, podemos concluir que esta estatística se enquadra nas condições habituais do meio agressivo que incorpora a indústria metalomecânica. Estes valores são difíceis de minimizar pois a severidade das operações está fortemente associada os processos, técnicas e equipamentos utilizados.
- Quanto ao fator de detetabilidade conclui-se que a grande maioria dos modos de falha é de deteção difícil ou moderada (70,95%). Este fator está fortemente ligado à antecipação dos episódios de risco bem como à consciência das condições de operação seguras no espaço de trabalho. Uma forma de maximizar estas competências é a aposta em avaliações e intervenções nos processos, procedimentos e atitudes que compõem a atividade industrial.

A *Tabela 3.38* compila as informações e estatísticas nomeadas anteriormente.

Tabela 3.38 - Quadro resumo da PFMEA do caso em estudo.

Quadro Resumo da PFMEA		
Nº de Modos de Falha Detetados	210	
Risco		
Nº de Modos de Falha de Risco Baixo	103	49,05%
Nº de Modos de Falha de Risco Moderado	105	50,00%
Nº de Modos de Falha de Risco Alto	2	0,95%
Ocorrência		
Ocorrência Baixa	127	60,48%
Ocorrência Moderada	73	34,76%
Ocorrência Alta	10	4,76%
Severidade		
Severidade Baixa	59	28,10%
Severidade Moderada	90	42,86%
Severidade Alta	61	29,05%
Detetabilidade		
Detetabilidade Alta	61	29,05%
Detetabilidade Moderada	102	48,57%
Detetabilidade Baixa	47	22,38%

3.4 Análise das Causas Raiz dos problemas identificados

No subcapítulo anterior identificaram-se os potenciais problemas do processo em estudo e apuraram-se os modos de falha, categorizando os mesmos de maneira a priorizar a ação sobre os eventos que acarretam mais risco. Neste subcapítulo vão-se abordar os modos de falha que apresentaram risco moderado e risco alto, tentando entender quais as causas que os podem despoletar e, de seguida, refletir sobre possíveis ações corretivas.

Da PFMEA elaborada conclui-se que uma boa parte dos modos de falha de risco moderado se repetem nas diferentes etapas de produção. Dada a similaridade constatada contrui-se uma tabela resumo dos modos de falha que requerem mais preocupação.

Tabela 3.39 – Tabela resumo dos modos de falha de risco preocupante.

Erro na preparação	
Erro no concurso/candidatura	
Acidente	Manobra (Empilhador)
	Transporte (Empilhador)
	Transporte (Camião)
	Movimentação (PM e PP)
	Manuseamento
	Operação de Equipamentos
	Fixações e posicionamento
	Ligeiro
Não realização de operações	
Operação apressada/ incompleta/ Mau acabamento	
Execução errada da operação	
Flutuação de mão de obra	
Equipamento de proteções deficiente/apressado	
Movimentação lenta (Pav 04)	
Avaria de equipamento - Decapagem	

Após analisar a compilação de modos de falha de risco considerável, retiram-se duas conclusões. A primeira conclusão é a preponderância de modos de falha de risco moderado existindo apenas dois modos de falha identificados como de alto risco. A segunda conclusão é o facto de se verificar que o risco associado a estes modos de falha está fortemente influenciado pelos critérios de grande severidade e pouca detetabilidade, sendo que os eventos perigosos têm baixa probabilidade de acontecer, consumando-se ocasionalmente.

Analisando individualmente os modos de falha elencados acima é possível fazer uma triagem dos mesmos e justificar o risco que representam.

Dois dos modos de falha preocupantes com os números de prioridade de risco mais baixos, apresentados na *Tabela 3.40*, baseiam o seu RPN nos mesmos fatores. Estes modos de falha “Má concretização da operação” e “Flutuação de mão de obra” são caracterizados com níveis de severidade e ocorrência significativos, fatores que contribuem para um escalar no nível de risco, nível esse que é atenuado dada a facilidade de deteção dos mesmos.

Tabela 3.40 - Parcela do Grupo de Modos de Falha 01.

	O	S	D	RPN
Operação apressada/ incompleta/ Mau acabamento	5	5	3	75
Flutuação de mão de obra	4	7	3	84

O primeiro modo de falha pode ter origem em dois fatores, o facto de existir uma falta de zelo e método na execução das operações por parte dos operários, ou por outro lado, existir uma gestão da produção desadequada que resulta na imposição de ritmos de produção insustentáveis. Tanto uma como outra têm por consequência a falta de qualidade e o pobre acabamento.

O segundo modo de falha pode também ter duas justificações. A flutuação de mão de obra disponível pode variar devido à escassez de trabalhadores associada a uma procura significativa o que provoca um efeito de “apagar fogos”, que obriga a movimentações contantes entre postos de trabalho e resulta em ausências frequentes. Outra justificação pode ser, num cenário em que a mão de obra é suficiente, esta ser mal gerida e não existir um escalonamento adequado que permita suprimir todas as necessidades do processo.

Os acidentes no espaço industrial são um tipo de modo de falha caracterizado pela incerteza, gravidade e dificuldade de deteção. Os modos de falha listados na *Tabela 3.41* são o reflexo dessa realidade, possuindo altos níveis de severidade e baixa detetabilidade. O risco associado a estes episódios em particular é consideravelmente diminuído pelo fator de ocorrência, tendo estes eventos com baixa probabilidade de se concretizarem.

Tabela 3.41 - Parcela do Grupo de Modos de Falha 02.

		O	S	D	RPN
Acidente	Manobra (Empilhador)	1	10	8	80
	Transporte (Camião)	1	10	9	90
	Manuseamento	2	8	8	128
	Operação de Equipamentos	2	10	8	160
	Transporte (Empilhador)	2	10	7	140
	Fixações e posicionamento	2	9	7	126
	Movimentação (PM e PP)	2	8	7	112
Equipamento de proteções deficiente/apressado		2	10	5	100
Erro no concurso/candidatura		1	10	7	70

Sendo a severidade um fator muito difícil de controlar, dada a sua forte associação à severidade e perigosidade dos processos de fabrico em si, aconselha-se a que sejam tomadas medidas para aumentar o nível de detetabilidade dos modos de falha.

Verificou-se um conjunto de modos de falha que, não tendo nenhum fator de risco particularmente acentuado, possui níveis moderados de ocorrência, severidade e detetabilidade. Este sucedido dificulta a atuação sobre os modos de falha, sendo desejável atuar em todos os fatores de risco.

Tabela 3.42 - Parcela do Grupo de Modos de Falha 03.

		O	S	D	RPN
Não realização de operações		4	6	5	120
Execução errada da operação		4	5	5	100
Acidente	Ligeiro	3	6	7	126

Estes modos de falha aparentam ser inofensivos no imediato sendo que na verdade constituem um problema a longo prazo. Devem ser tomadas medidas que minimizem estes focos de improdutividade e falta de segurança, iniciando o processo pela minimização da ocorrência, fator que tem consequências diretas na atividade diária da empresa.

O modo de falha “Movimentação lenta (Pav.04)” caracterizou-se como um caso particular na PFMEA realizada. Este modo de falha possui um risco moderado como consequência do elevado fator de ocorrência que o caracteriza. Os episódios de movimentação lenta no pavilhão nº 4 são bastante frequentes, constituindo um fator de improdutividade muito penalizador para a atividade produtiva.

Tabela 3.43 - Parcela do Grupo de Modos de Falha 04.

		O	S	D	RPN
Movimentação lenta (Pav 04)		8	4	4	128

A interpretação dos anteriores modos de falha tem aplicabilidade neste caso, sendo que a prioridade será atuar tendo em vista a diminuição da ocorrência.

O último agrupamento de modos de falha reúne os dois modos de falha mais severos. Classificados com um RPN de 200 e 240, estes episódios foram classificados como de alto risco sendo caracterizados como os problemas mais urgentes e com prioridade máxima de resolução.

Tabela 3.44 - Parcela do Grupo de Modos de Falha 05.

	O	S	D	RPN
Erro na preparação	8	6	5	240
Avaria de equipamento - Decapagem	5	8	5	200

O “Erro na preparação” verificou-se ser difícil de detetar, sendo o erro identificado numa fase avançada da produção, resultando em reformulações e retrabalho. A severidade manifesta-se na forma de impedimentos produtivos e gastos excepcionais. O fator ocorrência ditou a gravidade do modo de falha, sendo que este se verificou repetidamente durante todo o processo produtivo.

A “Avaria de equipamento - Decapagem” tal como o caso anterior demonstrou baixa detetabilidade, sendo que neste caso o fator determinante para o nível de risco alto foi o fator de severidade elevado, esta constatação justifica-se com os constrangimentos provocados pelo episódio. Todos estes distúrbios ao funcionamento normal do fluxo produtivo, acrescidos de uma taxa de ocorrência notável fazem com que este modo de falha constitua uma prioridade máxima.

Segue abaixo, na *Figura 3.13*, a evidência das reparações múltiplas resultantes das avarias da conduta do elevador de alcatruzes que integra o sistema de recolha de granalha analisado.

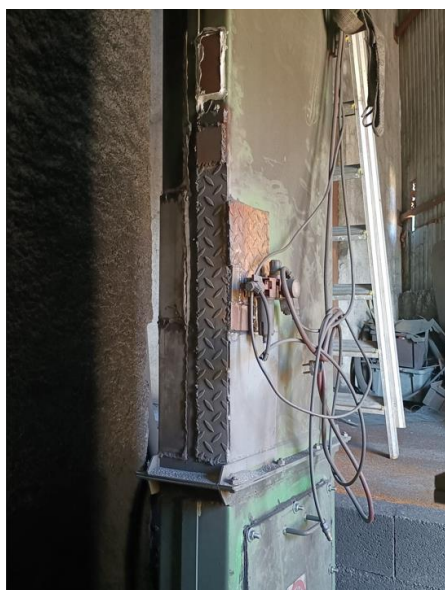


Figura 3.13 - Reparções na conduta do equipamento de decapagem.

4 Proposta de Melhoria

O cenário industrial descrito no capítulo anterior foi estudado caso a caso de maneira a facilitar a deteção de ineficiências e fragilidades, com o objetivo de, numa fase posterior, atacar essas situações problemáticas através da sugestão de novas estratégias e propostas de melhoria.

Depois da análise operação a operação das etapas produtivas, foram apurados, através do critério de prioridade de risco, RPN, os modos de falha prioritários. O passo seguinte foi o agrupamento dos modos de falha de acordo com as tipologias de problema que integram. Categorizaram-se os modos de falha em quatro grupos distintos que designam áreas de atuação que visam mitigar os episódios e diminuir o risco a eles associados. A Tabela 4.1, contabiliza os modos de falha e respetivas categorias.

Tabela 4.1 -Classificação dos modos de falha críticos.

Procedimentos	Erro no concurso/candidatura	
	Erro na preparação	
	Equipamento de proteções deficiente/apressado	
	Má execução das operações	
Formações	Equipamento de proteções deficiente/apressado	
	Acidente	Manobra (Empilhador)
		Transporte (Empilhador)
		Transporte (Camião)
		Movimentação (PR e PP)
		Manuseamento
		Operação de Equipamentos
		Fixação e posicionamento
Ligeiro		
Planeamento	Não realização de operações	
	Operação apressada/ incompleta/ Mau acabamento	
	Flutuações de mão de obra	
Reestruturação	Movimentação lenta (Pav 04)	
	Avaria de equipamento - Decapagem	

Foram apurados quatro modos de falha cuja problemática incide sobre formas de proceder erradas, sendo a proposta para a sua atenuação a implementação de procedimentos diversos. A categoria que agrega o maior número de modos de falha é a que incide sobre incidentes que comprometem a segurança no espaço de trabalho, e que por isso motivam iniciativas formativas e de sensibilização.

Classificaram-se também quatro modos de falha que afetam diretamente a produtividade do processo e a qualidade do produto, estes estão englobados em falhas de organização e

planeamento, incidindo as propostas para a sua resolução na adoção de estratégias de gestão mais eficazes.

A quarta categoria de classificação implementada abrange dois modos de falha fortemente ligados a falhas ou imobilização de equipamentos, motivando assim a adoção de políticas de reestruturação.

Na classificação da Tabela 4.1 existem dois modos de falha classificados com duas categorias, visto que a suas origens pode residir em mais que um fator. Após a associação por categorias aprofundaram-se cada uma delas de forma mais pormenorizada.

4.1 Procedimentos – Perdas por Falhas Operacionais

A categoria “Procedimentos” engloba as operações cujos modos de falha se baseiam em erros na forma de proceder. A *Tabela 4.2* lista os quatro modos de falha que cumprem essa premissa.

Tabela 4.2 - Modos de falha - Procedimentos.

Procedimentos	Erro no concurso/candidatura
	Erro na preparação
	Equipamento de proteções deficiente/apressado
	Má execução das operações

4.1.1. Proposta 01 - Erro no Concurso

A primeira proposta de melhoria incide sobre o “Erro no concurso/candidatura”. Este modo de falha está associado à operação “Concurso/Adjudicação” da etapa de Preparação. Através da ferramenta PFMEA, o modo de falha em causa foi classificado com um nível de prioridade de risco moderado, *Tabela 4.3*.

Tabela 4.3 - Modo de Falha - Erro no concurso.

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Preparação	Concurso/Adjudicação	Erro no concurso	Crítico (impossibilita a concretização do contrato)	1	10	7	70

Analisado o processo de candidatura a uma empreitada, desde o preenchimento de requisitos até à apresentação de uma proposta, foram identificados possíveis fatores passíveis de conduzir à falha. Dada a complexidade do procedimento, foram apontadas como causas de erro possíveis a desatenção e a falta de rigor do executante, podendo estes estar ligados à sobrecarga de trabalho, bem como a escassez de tempo e a precipitação na tomada de decisão. A estes fatores podem-se ainda juntar as limitações de resposta, por falta recursos humanos. A grande consequência do erro no concurso são os custos de oportunidade perdidos associados à errada/não submissão de propostas.

Por forma a minimizar este modo de falha sugere-se a criação de procedimentos que incluam o preenchimento do concurso e a revisão do mesmo no período que antecede a submissão. Prevendo que a adição desta etapa ao processo estenda a sua duração para um valor intolerável sugere-se que se envolva um colaborador extra no processo. No modelo proposto os dois elementos realizariam o preenchimento de candidaturas e as inspeções, sendo que o mesmo concurso nunca seria inspecionado pelo colaborador que o preencheu. Com a implementação deste procedimento esperam-se ganhos de produtividade e eficácia. Apesar de incluir a adição de um recurso humano, com os custos que isso acarreta para a empresa, a previsão é que um sistema redundante possibilite a resposta a um maior número de concursos com um nível de confiança e qualidade superiores.

4.1.2. Proposta 02 – Má/Pobre execução das operações

O segundo modo de falha a explorar é o “Executar a operação erradamente”. Este modo de falha encontra-se em todas as operações principais das etapas produtivas do caso em estudo. Este refere-se à pobre execução das operações por erro humano.

A deficiente execução de operações tem repercussões significativas no fluxo produtivo. Uma operação mal-executada influencia diretamente a produtividade dos trabalhos, consumindo mais recursos que os necessários, incluindo nestes matérias-primas, consumíveis dos ativos industriais, tempo, etc. Após análise dos processos reuniram-se algumas causas prováveis que justificam esses acontecimentos. Deduz-se neste raciocínio crítico que todos os envolvidos no processo podem contribuir de alguma forma para o defeito/erro, desde os preparadores no escritório aos operários em fábrica.

Preparação

A campanha produtiva inicia-se no gabinete de preparação onde um preparador reúne um conjunto de informação detalhada do produto, na forma de desenhos técnicos, com exigências específicas de produção. Através da ferramenta PFMEA, o modo de falha em causa foi classificado como evento de prioridade de risco moderada, *Tabela 4.4*.

Tabela 4.4 - Modo de Falha - Má execução da operação (Preparação).

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Preparação	Desenho 2D e 3D	Desenhos incorretos (erros e incongruências)	Improdutividade / Desperdício de Recursos	8	6	5	240

Quando é transmitida informação errada ou confusa aos executantes, a culpa do sucedido é do preparador. Para minimizar a ocorrência destes episódios sugere-se que seja criado um procedimento de preparação que descreva as etapas de preparação num formato sequencial sucinto e numerado. Este procedimento deverá acompanhar o preparador e auxiliá-lo no processo de preparação. Ainda na etapa de preparação é de sublinhar a importância da

comunicação, sendo fundamental um contacto eficiente entre todos os envolvidos. Deve existir uma troca de informação clara e disponível entre o preparador e o cliente, promovendo um esclarecimento mútuo

Produção

A segunda localização a analisar é o chão de fábrica, sendo este o espaço onde decorrem os processos produtivos executados por equipamentos e máquinas-ferramentas comandadas pelos respetivos operários. Nesta área foram identificados os outros possíveis responsáveis pela má execução de operações, os executantes. Através da ferramenta PFMEA, o modo de falha em causa foi classificado como evento de prioridade de risco moderada, *Tabela 4.5*.

Tabela 4.5 - Modo de Falha - Má execução da operação (Produção).

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Transversal a todo o Processo	Operação de equipamentos	Execução errada da operação	Improdutividade / Desperdício de Recursos	4	5	5	100

Após análise da atuação do operário conclui-se que em qualquer uma destas etapas pode ocorrer um engano, distração ou má interpretação que levem ao erro e conseqüentemente à má execução da operação e inutilização do artigo trabalhado. Com o intuito de minimizar a ocorrência de tais fenómenos, sugere-se que se criem procedimentos, preferencialmente em formato de fluxograma. Estes devem descrever as etapas a executar, incluindo formas de proceder em caso de anomalia/problema. É recomendado que, durante a adoção desta nova medida nos focos mais incidentes, sejam feitas inspeções regulares para auxiliar a avaliar a adesão à nova metodologia de trabalho.

4.1.3. Proposta 03 - Equipamento de EPI's deficiente

O terceiro modo de falha a explorar é o "Equipamento de EPI's deficiente/apressado". Este modo de falha está associado às etapas de decapagem, metalização, aplicação de primário e pintura de acabamento. Este refere-se ao equipamento defeituoso ou incompleto do fato e equipamentos de proteção obrigatórios às operações em causa. Através da ferramenta PFMEA, o modo de falha em causa foi classificado como evento de prioridade de risco moderada, *Tabela 4.6*.

Tabela 4.6 - Modo de Falha - Equipamento de EPI's deficiente/apressado.

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Decapagem	Equipar EPIs	Equipamento deficiente/apressado	Segurança	2	10	5	100

Num ambiente industrial são inúmeros os perigos e ameaças à integridade dos trabalhadores. É essencial prevenir acidentes e minimizar a sua severidade, para tal é fortemente recomendada a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's).

Todas as etapas produtivas exigem a utilização EPI's, mas neste caso de estudo em concreto, a sua má utilização verificou-se mais severa nas operações de tratamento de superfícies.

Avaliado o risco das operações surgem destacadas pela negativa os episódios de uso indevido de EPI's nas câmaras e estufa de tratamentos de superfície. Este valor de risco agravado verifica-se não pela ocorrência dos episódios, mas pela severidade em caso de ocorrência, tendo sido classificados com o nível máximo no que respeita ao impacto/severidade. As operações de tratamento de superfícies envolvem processos físicos e químicos que libertam substâncias e partículas nocivas para a saúde. Estas quando inaladas e absorvidas durante um período continuado resultam em danos severos e permanentes na saúde do indivíduo, levando à doença grave ou até à morte. Para evitar e minimizar estes desfechos foram criados EPI's dedicados a proteger o indivíduo das condições danosas da sua atividade. Contudo mesmo sendo fornecidos os EPI's, estes são algumas vezes ignorados ou mal utilizados, seja por distração, desleixe ou até por defeito do equipamento.

Com a finalidade de proteger os colaboradores e garantir a saúde e segurança no trabalho sugere-se a implementação de procedimentos escritos nas áreas de trabalhos de tratamento de superfícies. O procedimento proposto consiste numa listagem detalhada de passos a cumprir e assinalar, checklist, durante cada evento de equipamento de EPI's. Este seria um procedimento diário a preencher e assinar pelos colaboradores e seria arquivado e organizado em forma de registo.

Aconselha-se ainda a criação de uma estação/divisão dedicada ao equipamento de EPI's de forma incentivar e enfatizar a importância do procedimento. Dado que a implementação dos procedimentos e alterações sugeridos envolve uma mudança significativa nas rotinas e hábitos dos colaboradores, sugere-se também uma inspeção rotineira durante período de implementação, de maneira a verificar a adesão às novas medidas.

4.2 Formações – Perdas de Operação

Dois lemas intrinsecamente ligados à cultura *Lean* são a partilha de conhecimento e a formação e treino contínuos. A ausência destas práticas constitui um desperdício produtivo, pois ocasiona perdas de operação que se refletem no subaproveitamento da mão de obra e do seu potencial.

A categoria Formações engloba as operações cujos modos de falha são originados por más práticas e atitudes que comprometem a segurança do espaço de trabalho. A categoria é assim denominada visto que a proposta de mitigação desses modos de falha passa pela organização e atendimento de sessões de formação e esclarecimento no tema da segurança.

Os modos de falha selecionados foram aqueles cuja causa elementar residia no desconhecimento ou desvalorização de boas práticas de operação de equipamentos e movimentação de cargas. Os eventos detetados abrangidos por este critério encontram-se resumidos na *Tabela 4.7*.

Tabela 4.7 - Modos de falha - Formações.

Formações	Equipamento de proteções deficiente/apressado	
	Acidente	Manobra (Empilhador)
		Transporte (Empilhador)
		Transporte (Camião)
		Movimentação (PR e PP)
		Manuseamento
		Operação de Equipamentos
		Fixação e posicionamento
Ligeiro		

A adoção destas medidas formativas é motivada por ensinamentos da cultura Lean, particularmente da metodologia dos 5S. Dos 5 sentidos a praticar aquele que se relaciona diretamente com a mensagem que se pretende transmitir neste contexto é o sentido da autodisciplina, também denominado de *Shitsuke*.

A metodologia preconiza a interiorização de bons hábitos e atitudes promovendo a autodisciplina individual e de grupo. Nesta cultura é também incentivada a atualização constante de conhecimentos por parte de todos os intervenientes no processo. A implementação destes valores motiva, entre outros, o cumprimento de normas e procedimentos, a consciencialização de valores éticos e morais, melhorias no desenvolvimento profissional e uma redução dos acidentes de trabalho.

4.2.1 Proposta 04 - Equipamento de EPI's ignorado ou deficiente

Retomando o último modo de falha discutido, um dos dois modos de falha que partilham a multiplicidade de causas, o "Equipamento de EPI's deficiente".

Aponta-se a falta de formação como outra das potenciais causas deste modo de falha, visto que a execução da tarefa em causa exige um conhecimento sólido de práticas de segurança e operação de equipamentos. Julga-se que a formação na área dos equipamentos de proteção individual minimizaria a probabilidade de ocorrência das práticas danosas para os colaboradores em causa, minimizando por consequência o risco da operação.

Sugere-se, a respeito deste tema, o contacto com uma entidade formativa na área da saúde e segurança no trabalho, bem como na área na operação de equipamentos de decapagem, metalização e pintura. O pretendido seria a concretização de uma formação teórica, seguida de uma sessão de exemplificação de procedimentos de forma a demonstrar as boas práticas

e educar os colaboradores a esse respeito. A sugestão inclui ainda um elemento de avaliação prático que afira as competências dos formandos.

4.2.2 Proposta 05 - Acidentes

Os restantes modos de falha, os acidentes, apesar de variados têm todos um fundamento comum, todos eles comprometem a segurança no local de trabalho e a saúde e bem-estar dos trabalhadores. Estes acidentes dividem-se em três grupos, os relacionados com a manobra/condução de veículos e equipamentos móveis com e sem carga, os relacionados com a operação de máquinas e equipamentos acessórios aos processos, e por fim os relacionados com esforço físico continuado, movimentos e deslocações antes durante e após operações.

Proposta 5.1 - Condução e manobramento de veículos e equipamentos móveis

Os acidentes que envolvem veículos ou a operação de equipamentos móveis possuem uma severidade acrescida já que estas situações estão associadas à ocorrência de atropelamentos, esmagamento, entre outros traumatismos e lesões graves.

Através da ferramenta PFMEA, os modos de falha em causa foram classificados como eventos de prioridade de risco moderada, *Tabela 4.8*.

Tabela 4.8 - Modos de Falha - Acidentes I.

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Transporte (PES -> PTS)	Manobrar e operar o Empilhador	Acidente no transporte	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Acondicionamento	Manobrar o Porta paletes	Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	8	8	128
Transversal a todo o Processo	Movimentação de componentes - PR	Acidente na movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	9	8	144
Acondicionamento e Transporte Final	Acondicionar carga no camião	Acidentes de Operação de Empilhador	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	10	9	180

No processo estudado existem veículos como empilhadores, camiões e carrinhas que circulam no parque e nos pavilhões da empresa. Dado que estes partilham o espaço de ação com indivíduos, as suas manobras e operações devem ser sempre previsíveis, anunciadas e cuidadosas. O mesmo se aplica a equipamentos móveis no interior dos pavilhões como é o caso dos porta-paletes e da ponte rolante, esta última com cuidados acrescidos devido à função de movimentar cargas suspensas.

A sugestão para minimizar este fenómeno é a sensibilização e educação de todos os envolvidos no ambiente industrial, providenciando formações não só de segurança geral como de operação e manobra de veículos específicos. Para além da componente formativa seria do interesse de todos que existissem marcações no chão de fábrica que permitissem distinguir o espaço de ação dos veículos e dos operários.

Proposta 5.2 - Operação de máquinas-ferramentas e equipamentos acessórios aos processos

Um dos maiores focos de acidentes nas imediações fabris é a operação de máquinas-ferramentas. A indústria metalomecânica é composta por processos violentos dado o trabalho a que se propõe. Os operários devem ter cuidados acrescidos pois os potenciais cortes, fraturas e queimaduras estão muito presentes neste ambiente, e a eletricidade que alimenta os equipamentos industriais tem a capacidade de causar danos catastróficos irremediáveis aos infortunados que a contactarem.

Ainda no mesmo grupo um potencial acidente, sobretudo nas operações de soldadura, são as quedas de estruturas/peças em altura, que, por erros de fixação ou de manuseamento, colapsam embatendo em estruturas vizinhas ou em indivíduos próximos do acontecimento. Este género de acidentes tem potencial de gerar contusões, fraturas entre outras lesões de gravidade substancial e, por isso, deve ser mitigado veementemente.

Outro fator a atentar neste processo produtivo em particular é a dimensão dos artigos a trabalhar, e a sua relação com a severidade dos acidentes. Numa fase inicial são manuseados artigos relativamente leves e pequenos, como elementos de barra e varão de aço. Nas fases intermédia e final da operação, a dimensão e massa da estrutura a trabalhar é substancialmente superior, influenciando proporcionalmente a criticidade das operações e o seu risco.

Por último, esta categoria ainda contabiliza um outro tipo de “acidente”, a exposição a ambientes ruidosos e tóxicos. Este tipo de acidente acaba por ser mais moroso, mas os seus danos acumulados são tão ou mais severos que um corte ou queimadura. A inalação de pós e gases resultantes dos processos industriais leva a problemas de saúde graves sendo especialmente danoso para o sistema respiratório, propiciando o desenvolvimento de problemas cancerígenos.

A poluição sonora apesar de ser um dos perigos mais evidente e sentido é também um dos mais ignorados. A utilização de EPI's é frequentemente ignorada ou esquecida, penalizando fortemente a saúde auditiva de quem o faz.

Através da ferramenta PFMEA, os modos de falha em causa foram classificados como eventos de prioridade de risco moderada, *Tabela 4.9*.

Tabela 4.9 - Modos de Falha - Acidentes II.

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Corte	Execução do Corte	Acidente na operação de Corte	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Desempeno e Limagem	Execução do Desempeno	Acidente na operação de Desempeno	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	8	8	192
Desempeno e Limagem	Execução da Limagem	Acidente na operação de Limagem	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	8	8	128
Puncionamento e Escareamento	Execução do Puncionamento	Acidente na operação de Puncionamento	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Puncionamento e Escareamento	Execução do Escareamento	Acidente na operação Escareamento	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Soldadura e Controlo	Ajuste da pré-estrutura e fixação	Acidente por queda - Erro de fixação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	10	8	160
Soldadura e Controlo	Execução da Soldadura Definitiva	Acidente na operação e manuseamento	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Decapagem	Execução da Decapagem	Acidente na Operação de Decapagem	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80

Para dar resposta a todos estes acidentes e incidentes propõe-se que sejam lecionadas formações no âmbito da higiene e segurança no trabalho, com especial foco na utilização dos EPI's recomendados. Estas sessões devem ser seguidas pela implementação de medidas de segurança adequadas a cada operação. Após esta circunstância educativa devem ser feitas periodicamente fiscalizações/controlos para conferir a eficácia da adoção de medidas.

Proposta 5.3 - Esforço físico, movimentos e deslocações

Os acidentes que se categorizam como menos graves são aqueles cujas consequências diminuem as capacidades do colaborador por um curto período. A esta definição pertencem os acidentes de manuseamento de material entre estações, como por exemplo a queda de peças ou ferramentas, as quedas por desequilíbrio em obstáculos, entalões e pancadas, cortes e as batidas em superfícies salientes por descuido ou mau acondicionamento, etc.

Através da ferramenta PFMEA, os modos de falha em causa foram classificados como eventos de prioridade de risco moderada, *Tabela 4.10*.

Tabela 4.10 - Modos de Falha - Acidentes III.

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Descarregamento e Armazenamento	Descarregar materiais - Ponte Rolante	Acidente de manuseamento	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	8	8	64
Corte	Acondicionamento de componentes cortados	Acidente na movimentação elementos cortados	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	6	6	108
Acondicionamento	Acondicionamento da carga	Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	7	7	147
Acondicionamento e Transporte Final	Acondicionar carga no camião	Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	7	7	147

Esta categoria que representa os acidentes ligeiros aparece categorizada pela ferramenta PFMEA como modo de falha de risco médio pois, ao contrário das anteriormente referidas, esta categoria apresenta uma taxa de ocorrência mais significativa que as anteriores. Apesar de comparativamente menos severos, estes modos de falha, constituem um risco significativo. Perante este cenário, de forma a diminuir a ocorrência destes episódios propõe-se uma ação de formação na linha das anteriormente descritas, com incidência na arrumação, boas práticas e comportamentos no espaço de trabalho.

4.3 Planeamento

A categoria Planeamento engloba as operações cujos modos de falha são originados pela má gestão e organização dos tempos e recursos disponíveis.

Foram detetadas falhas e ineficiências na realização de operações, muitas delas consistiam em “saltar” atividades, realizá-las de forma apressada, lenta ou incompleta e ainda a possibilidade de existir dificuldade em reunir as partes (indivíduos) necessárias para realizar a operação.

Todos estes episódios estão de alguma forma relacionados com a má gestão e alocação de recursos. Antes de tomar a decisão de adquirir mais recursos ou estender prazos, temos primeiro de averiguar qual o impacto de uma reorganização/restruturação do sistema produtivo. Depois de reformular os processos produtivos e a utilização de recursos poder-se-ão retirar conclusões quando à necessidade de contratar mais recursos.

A *Tabela 4.11* apresenta na forma listada os modos de falha que aparentam ter origem em processos ineficientes e desorganizados.

Tabela 4.11 - Modos de falha - Planeamento.

Planeamento	Não realização de operações
	Operação apressada/ incompleta/ Mau acabamento
	Flutuações de mão de obra

4.3.1 Proposta 06 - Perdas de Gestão (Ordens de Trabalho)

Um acontecimento sintomático do planeamento deficiente de tarefas e ordem de trabalhos é a ocorrência de filas de espera para processamento e flutuações abruptas de mão de obra. No processo industrial estudado foram detetados alguns episódios característicos de um modelo produtivo ligeiramente desequilibrado, como o acumular de stocks intermédios excessivos, a existência de tempos mortos causados pela ausência de mão de obra auxiliar, *Tabela 4.12*, e eventos de excesso de produção.

Tabela 4.12 - Modo de Falha - Perdas de Gestão.

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Decapagem	Recolha e movimentação de produto em processamento	Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	5	7	3	105

A gestão de recursos humanos é essencial para evitar gargalos na linha de produção e eliminar desperdícios nos processos produtivos. De forma a colmatar o desequilíbrio de recursos humanos sugere-se a aplicação da metodologia de balanceamento de linhas para com isso equilibrar a carga de trabalho dos colaboradores e equipamentos.

4.3.1.1 Balanceamento de Linhas

CENÁRIO REAL

A linha produtiva em serviço conta com uma equipa de serralharia de 6 elementos, uma equipa de tratamentos de superfície de 2 elementos e um elemento de intervenção ocasional encarregue das funções de movimentação e transporte do produto em processamento entre pavilhões.

A distribuição de operários por estação de trabalho encontra-se esquematizada na *Figura 4.1*.



Figura 4.1 - Esquema elucidativo da distribuição de trabalhadores pelas estações de trabalho.

Em termos de capacidade produtiva diária verificaram-se flutuações relevantes nos dias de trabalho analisados. As variações de mão de obra alocada ao projeto e a execução de vários projetos em simultâneo justificam as flutuações verificadas, sendo difícil apontar para um valor de produtividade único.

Com o objetivo de uniformizar os valores recolhidos em fábrica e definir um valor de produtividade referência foram assumidas três condições. A primeira condição é a de que todos os cálculos serão realizados assumindo que os colaboradores envolvidos se dedicam exclusivamente ao processo produtivo em estudo, dedicando a este 8 horas de trabalho diário. A segunda condição assume que nenhum posto de trabalho pode ser dividido por dois colaboradores. A terceira condição assume que todos os trabalhadores envolvidos têm a competência para desempenhar qualquer operação do processo.

Após a realização de uma *Gemba Walk*, contabilizou-se a duração e encadeamento das tarefas que compõem as operações produtivas necessárias para o fabrico de uma guarda metálica. Com os resultados elaborou-se a *Tabela 4.13* que compila a duração individual das operações em causa.

Tabela 4.13 - Tabela resumo da duração das operações do processo produtivo.

Operação	Duração (minutos)
Início da Produção	-
Corte de Barras A	7,77
Corte de Barras B	7,77
Corte de Varões	12,93
Desempeno e Limagem	14,15
Puncionamento	8,72
Escareamento	8,13
Pré-Montagem	22,00
Soldadura	73,00
Movimentação	4,00
Descarregamento e Arrunção	5,00
Decapagem	42,30
Metalização	17,30
Aplicação de Primário	16,90
Aplicação de Acabamento	16,90
Fim da Produção	-
TOTAL	256,87

Estando definidas as condições de análise é possível estimar a produtividade diária do processo real, cuja grandeza é medida em guardas metálicas concluídas diariamente. Sendo os postos de trabalho indivisíveis, a capacidade produtiva diária passa a estar diretamente dependente do processo mais demorado da linha produtiva, a soldadura. Sabendo que o processo de soldadura demora em média 73 minutos a ser concluído, considerou-se esse valor como o tempo de ciclo gargalo. Dado que o turno diário de cada colaborador são 8 horas

calculou-se a capacidade produtiva do posto de trabalho em questão através da uma variação da equação 2.4, resultando no seguinte:

$$C_p = \frac{\text{Tempo disponível}}{T_c \text{ gargalo}} \quad (2.4)$$

C_p - Capacidade de produção máxima diária $\left[\frac{\text{unid.}}{\text{dia}}\right]$

Substituindo os valores na equação temos que:

$$C_p = \frac{60 \times 8}{73} = \frac{480}{73} = 6,575 \rightarrow 6 \frac{\text{unidades}}{\text{dia}} \quad (2.4)$$

Determina-se com isto que, nestas condições, a produtividade diária do posto de soldadura será de 6 guardas, concluindo-se pelo raciocínio anterior que a produtividade diária do processo real é de 6 guardas finalizadas.

Através dos valores recolhidos apurou-se a eficiência da linha produtiva analisada.

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Soma dos tempos das tarefas}}{N^{\circ} \text{ Real de Postos de Trabalho} \times \text{Tempo de Ciclo}} = \frac{T}{K \times T_c} \quad (2.7)$$

Após somar a duração das tarefas de cada posto de trabalho verifica-se uma duração total de operações de 256,9 minutos. Atribuindo ao tempo de ciclo os 73 minutos da operação mais demorada, e contabilizando 8 postos de trabalho substituem-se aos valores na equação, resultando na seguinte operação matemática:

$$\text{Eficiência} = \frac{256,9}{8 \times 73} = 0,4398 \rightarrow 43,98\% \quad (2.7)$$

Da mesma forma, o complementar da eficiência determina a folga no ciclo produtivo:

$$1 - 0,4398 = 0,5602 \rightarrow 56,02\%$$

Conclui-se com esta análise que estamos perante uma linha produtiva desequilibrada, urgindo um processo de reorganização de distribuição de atividades.

CENÁRIO BALANCEADO 01 – Cumprir a meta produtiva

Após definido o cenário de referência, o real, transitou-se para o exercício de balanceamento da linha produtiva. Esta abordagem propõe-se a equilibrar o ciclo produtivo tendo como objetivo principal o cumprimento da meta produtiva real, mantendo o tempo de ciclo e minimizando o número de estações de trabalho.

A técnica de balanceamento de linhas consiste na alocação de tarefas a estações de trabalho definidas, de maneira a atingir uma cadência produtiva semelhante entre elas, tentando aproximar a duração das tarefas dessas estações ao tempo de ciclo da linha.

Inicia-se o exercício de balanceamento da linha produtiva com base nos dados recolhidos em ambiente industrial seguindo as etapas da metodologia.

ETAPA 01

A etapa inicial convida a especificar todas as relações sequenciais entre tarefas, atribuindo a cada uma delas os seus tempos elementares de duração. A representação das relações descritas faz-se através da construção de uma tabela de precedências.

Código	Operação	Duração (minutos)	Precedência
-	Início da Produção	-	-
A	Corte de Barras A	7,77	-
B	Corte de Barras B	7,77	-
C	Corte de Varões	12,93	-
D	Desempeno e Limagem	14,15	A, B, C
E	Puncionamento	8,72	D
F	Escareamento	8,13	E
G	Pré-Montagem	22	F, D
H	Soldadura	73	G
I	Movimentação	4	H
J	Descarregamento e Arrumação	5	I
K	Decapagem	42,3	J
L	Metalização	17,3	K
M	Aplicação de Primário	16,9	L
N	Aplicação de Acabamento	16,9	M
-	Fim da Produção	-	-

Figura 4.2 - Tabela de precedências – Cenário Balanceado 01.

A informação da tabela de precedências pode ser esquematizada na forma de um diagrama de precedências, com o propósito de transformar a informação tabelada num esquema fluido.

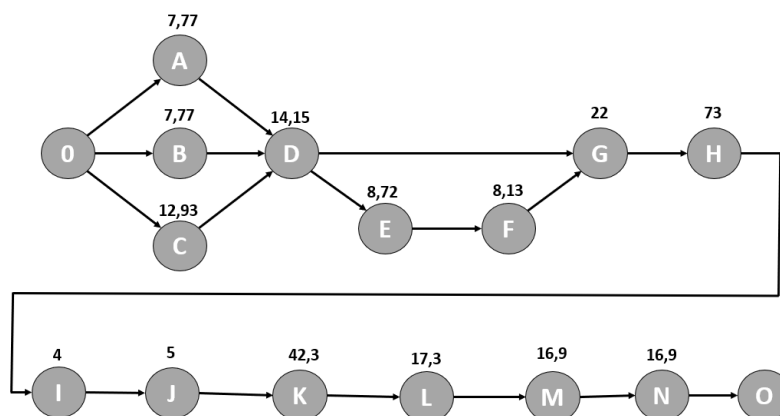


Figura 4.3 - Diagrama de precedências - Cenário Balanceado 01(Pré Balanceamento).

ETAPA 02

O passo seguinte passou pela determinação do tempo de ciclo da linha, contabilizando o intervalo de tempo entre duas unidades sucessivas à saída da linha produtiva. O cálculo do tempo de ciclo é dado pela seguinte equação:

$$T_c = \frac{\text{Tempo produtivo disponível}}{\text{Produção Necessária}} = \frac{1}{CAD} \quad (2.5)$$

CAD – Cadência da linha, i. e. nº de peças produzidas por unidade de tempo

Considerou-se o tempo produtivo disponível a duração do turno diário, 8 horas, e definiu-se como produção necessária as 6 guardas finalizadas que resultaram do exercício que replicou o cenário real. Convertendo as unidades de horas em minutos e substituindo na Equação (2.5) temos:

$$T_c = \frac{8 \times 60}{6} = 80 \frac{\text{min}}{\text{unid}} \quad (2.5)$$

ETAPA 03

A terceira etapa determina o número teórico mínimo de postos de trabalho, representado por (N_p). Esta variável estabelece o número de postos de trabalho necessários para satisfazer o tempo de ciclo imposto pelas exigências de produção.

O cálculo do número teórico mínimo de postos de trabalho é dado pela seguinte equação:

$$N_p = \frac{\text{Soma dos tempos das tarefas}}{\text{Tempo de ciclo}} = \frac{\sum t_i}{T_c} = \frac{LT}{T_c} \quad (2.3)$$

LT – Lead Time (Tempo total das tarefas)

Tendo definido o tempo de ciclo calculou-se a variável em falta, a soma dos tempos das tarefas do processo. Somados os valores da duração das operações individuais chegou-se ao valor já calculado no cenário anterior de 256,9 minutos, que representa o tempo de trabalho necessário para a produção de uma guarda metálica. Substituindo os valores das variáveis temos que:

$$N = \frac{256,9}{80} = 3,211 \rightarrow K = 4 \text{ Postos de Trabalho} \quad (2.3)$$

K – Número real de postos de trabalho

Constata-se que, para concretizar o processo produtivo em estudo seriam necessários 4 postos de trabalho, o que significa, seguindo as condições impostas, que seriam necessários 4 colaboradores para concretizar o encargo produtivo.

ETAPA 04

De forma a atribuir as tarefas aos postos de trabalho há primeiro que selecionar a regra de atribuição. Para tal devem ser consultadas as regras heurísticas de balanceamento de linhas,

neste exercício de balanceamento de linha foi selecionada a regra “Tem prioridade a operação com o maior número de operações seguintes”.

ETAPA 05

A etapa nº5 faz a associação das tarefas aos postos de trabalho individualmente. Esta atribuição é feita seguindo duas condições, a primeira é que a atribuição é feita até que a soma dos tempos das tarefas seja igual ao tempo de ciclo, a segunda é feita até que já não seja possível incluir outras tarefas devido ao sequenciamento ou limitação de tempo. A equação que define a primeira condição é a seguinte:

$$\left(\sum t_i\right)_{PT} \leq T_c \quad (2.6)$$

$\left(\sum t_i\right)_{PT}$ – Soma dos tempos das tarefas de um Posto de Trabalho

O resultado da sua aplicação é o seguinte:

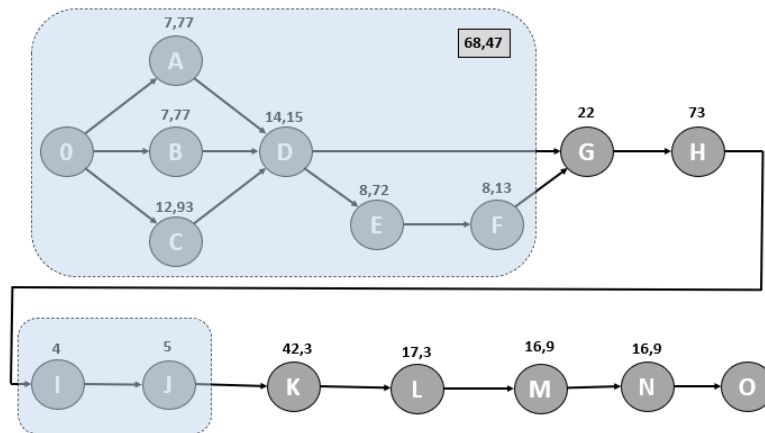


Figura 4.4 - Diagrama de precedências - Cenário Balanceado 01 - Etapa 05.

ETAPA 06

A etapa final consiste na repetição do processo até que todas as tarefas estejam atribuídas aos respectivos postos de trabalho.

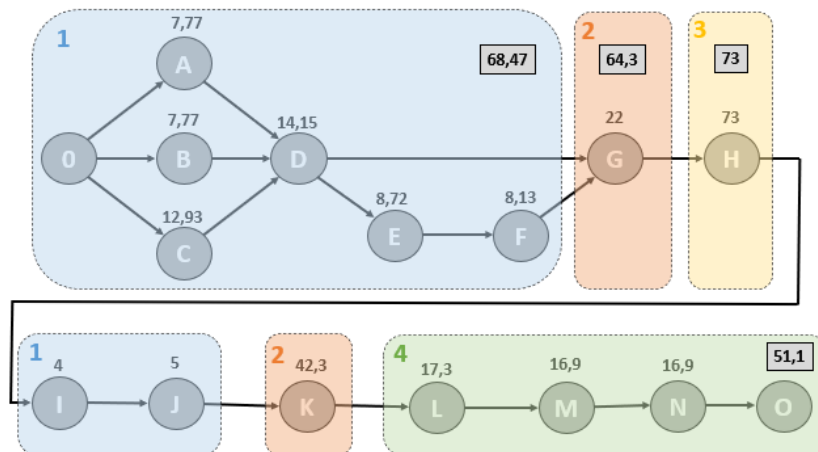


Figura 4.5 - Diagrama de precedências - Cenário Balanceado 01 - Etapa 06.

ETAPA 07

Após concluir o balanceamento realiza-se a avaliação de eficiência do mesmo. A eficiência é considerada satisfatória se o valor obtido for igual ou superior aos 95%. O cálculo da eficiência e folga do balanceamento é realizado através da aplicação da seguinte equação (2.7):

$$Eficiência = \frac{\sum t_i}{N^{\circ} \text{ Real de Postos de Trabalho} \times \text{Tempo de Ciclo}} = \frac{T}{K \times T_c} \quad (2.7)$$

Folga dada por:

$$Folga = 1 - Eficiência$$

Substituindo os valores:

$$Eficiência = \frac{256,9}{4 \times 80} = 0,8028 = 80,28\% \quad (2.7)$$

Resultando numa folga de:

$$Folga = 1 - 0,8028 = 0,1972 = 19,72\%$$

Este exercício de balanceamento resultou numa eficiência de 80,28%, um valor aquém do satisfatório. Perante este cenário deveria refazer-se o procedimento alterando a regra de decisão selecionada, o mesmo não foi realizado visto que o número de postos de trabalho ótimo foi alcançado com a regra escolhida e é esse o fator determinante na obtenção da eficiência, sendo impossível alcançar um valor melhor com uma regra diferente.

CENÁRIO BALANCEADO 02 – Aproveitamento da mão de obra disponível

Uma outra abordagem possível ao sistema produtivo em causa é a realização do balanceamento da linha com foco na manutenção da força produtiva, assegurando a ocupação a tempo inteiro dos oito colaboradores.

ETAPA 01

Tendo este exercício de balanceamento a condicionante de garantir a máxima produtividade diária de uma equipa de trabalho de oito elementos, inicia-se o procedimento com a determinação do tempo de ciclo deste cenário. Transformando a equação (2.3), em função do tempo de ciclo temos:

$$N_p = \frac{LT}{T_c} \rightarrow T_c = \frac{LT}{N_p} \quad (2.3)$$

$T_c \rightarrow$ Tempo de Ciclo

$LT \rightarrow$ Lead Time

$N_p \rightarrow$ Número teórico mínimo de postos de trabalho

Substituem-se os valores de “ LT ” e “ N_p ”, resultando em:

$$T_{c\ ideal} = \frac{256,9}{8} \leftrightarrow T_{c\ ideal} = 32,11\ \text{Minutos} \quad (2.5)$$

ETAPA 02

Após a determinação do tempo de ciclo ideal, reúnem-se as condições para determinar a meta de produção a atingir com a equipa de trabalho. Transformando a equação (2.5), em função da produção temos a equação (2.4).

$$T_c = \frac{\text{Tempo produtivo disponível}}{\text{Produção Necessária}} \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \text{Produção ideal} = \frac{\text{Tempo produtivo disponível}}{T_{c\ ideal}} \quad (2.4)$$

Substituem-se os valores de “Tempo produtivo disponível” e “Tempo de ciclo ideal”, resultando em:

$$\text{Produção ideal} = \frac{8 \times 60}{32,11} = \frac{480}{32,11} = 14,95 \quad (2.4)$$

Constata-se que, com os recursos disponíveis e com as condicionantes impostas, num contexto ideal é possível produzir, com a equipa de 8 colaboradores, 14 guardas metálicas, ficando a décima quinta muito próxima da conclusão. O pressuposto por de trás deste cálculo assume que com a criação de 8 postos de trabalho cuja duração das tarefas combinada resultasse em 32,11 minutos seria possível a produção de 14,95 guardas metálicas. Dada a discrepância de valores de cada operação de fabrico torna-se impossível formar com estas, postos de trabalho com uma duração combinada de 32,11 minutos.

Dada a impossibilidade de ultrapassar esse valor de duração, a duração dos trabalhos de cada posto fica abaixo do pretendido impossibilitando a execução dessa meta produtiva com apenas 8 colaboradores. Com o propósito de permitir alguma folga temporal na criação de postos de trabalho reduziu-se a meta produtiva para as 14 guardas metálicas finalizadas, recalculando o valor do tempo de ciclo praticável.

$$T_{c\ praticável} = \frac{\text{Tempo produtivo disponível}}{\text{Produção Praticável}} = \frac{480}{14} = 34,29\ \text{minutos} \quad (2.5)$$

ETAPA 03

Definidos os postos de trabalho, o tempo de ciclo e a capacidade produtiva, reúnem-se as condições para alocar operações à equipa de trabalho.

Antes da atribuição de operações deve primeiro selecionar-se a regra de atribuição que rege o processo. Como no cenário anterior, consultam-se as regras heurísticas de balanceamento de linhas e seleciona-se a regra mais interessante para o caso concreto.

Neste exercício de balanceamento de linha foi selecionada a regra “Tem prioridade a operação com o maior tempo de execução”.

ETAPA 04

A etapa nº4 faz a associação das tarefas aos postos de trabalho individualmente. Esta atribuição é feita seguindo duas condições, a primeira é que a atribuição é feita até que a soma dos tempos das tarefas seja igual ao tempo de ciclo, a segunda é feita até que já não seja possível incluir outras tarefas devido ao sequenciamento ou limitação de tempo.

Uma vez que o processo produtivo em causa possui operações cuja duração é superior ao tempo de ciclo exigido no exercício de balanceamento, procedeu-se à divisão da operações em suboperações em paralelo, tendo para isso de abandonar a segunda condição anteriormente imposta que ditava que “nenhum posto de trabalho pode ser dividido por dois colaboradores.”.

O resultado da sua aplicação é a transformação do diagrama de precedências da *Figura 4.6* no diagrama de precedências da *Figura 4.7*.

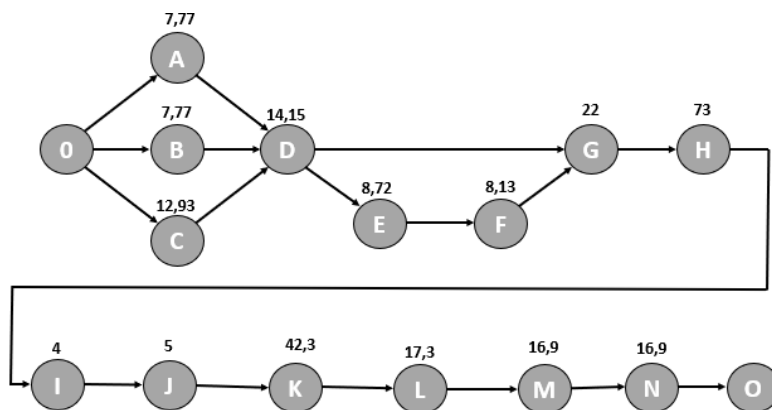


Figura 4.6- Diagrama de precedências - Cenário Balanceado 02 – Pré-Divisão

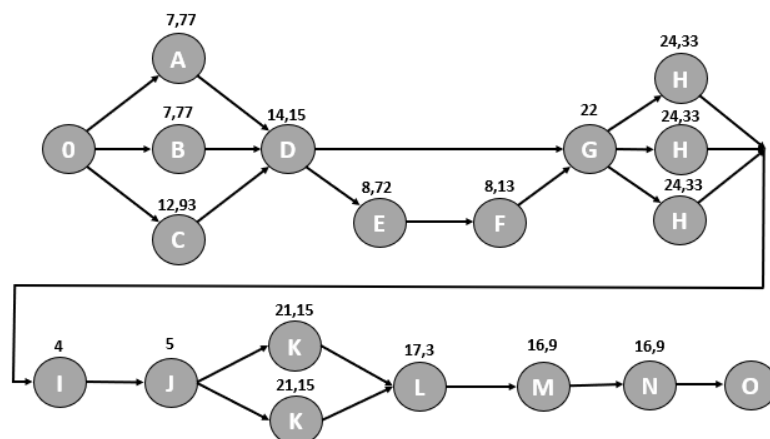


Figura 4.7- Diagrama de precedências - Cenário Balanceado 02 – Pós-Divisão

As operações H e K foram transformadas em suboperações com durações inferiores ao tempo de ciclo. Após a adaptação do diagrama de precedências foi iniciado o processo de definição de postos de trabalho seguindo a regra heurística selecionada.

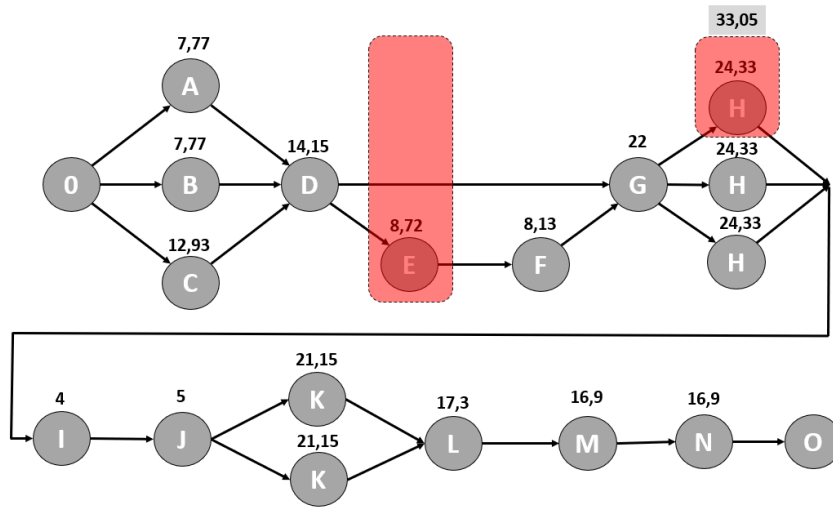


Figura 4.8 - Diagrama de precedências - Cenário Balanceado 02 - Etapa 04_Inicio.

Replicou-se o procedimento até todas as operações se encontrarem atribuídas aos respectivos postos de trabalho.

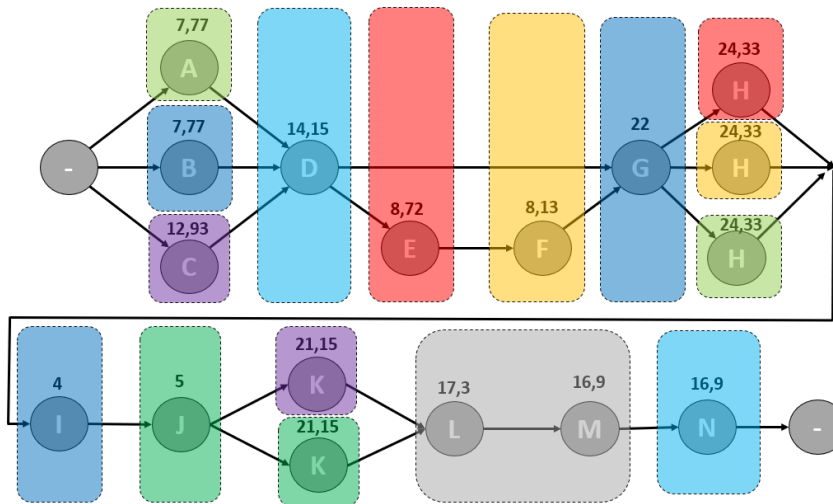


Figura 4.9 - Diagrama de precedências - Cenário Balanceado 02 - Etapa 04_Fim.

ETAPA 05

Após concluir o balanceamento realiza-se a avaliação de eficiência do mesmo. O cálculo da eficiência do balanceamento é realizado através da aplicação da seguinte equação (2.7)

Substituindo os valores:

$$Eficiência = \frac{256,9}{8 \times 34,29} = 0,9364 = 93,64\% \quad (2.7)$$

Resultando numa folga de:

$$Folga = 1 - 0,9364 = 0,0636 = 6,36\%$$

Este segundo exercício de balanceamento resultou numa eficiência de 93,64%, um valor superior ao alcançado no primeiro cenário. Sendo que a eficiência obtida se encontra abaixo dos 95% correspondentes ao critério mínimo de aceitação de balanceamento, deveria refazer-se o procedimento alterando a regra de decisão selecionada, o mesmo não foi realizado visto que, tal como no cenário anterior, o número de postos de trabalho ótimo foi alcançado e é esse o fator determinante na obtenção da eficiência.

CONCLUSÕES INTERMÉDIAS DOS EXERCÍCIOS DE BALANCEAMENTO

Através de um exercício de cálculo de eficiência da linha produtiva para os vinte primeiros valores de produção requerida conclui-se que o maior valor de eficiência alcançado se verifica no cenário em que se produzem 13 guardas metálicas diárias utilizando 7 postos de trabalho. Nesta circunstância o ritmo produtivo seria definido por um tempo de ciclo de 36,92 minutos e seria alcançada uma eficiência de 99,38 pontos percentuais, como mostrado na Figura 4.10.

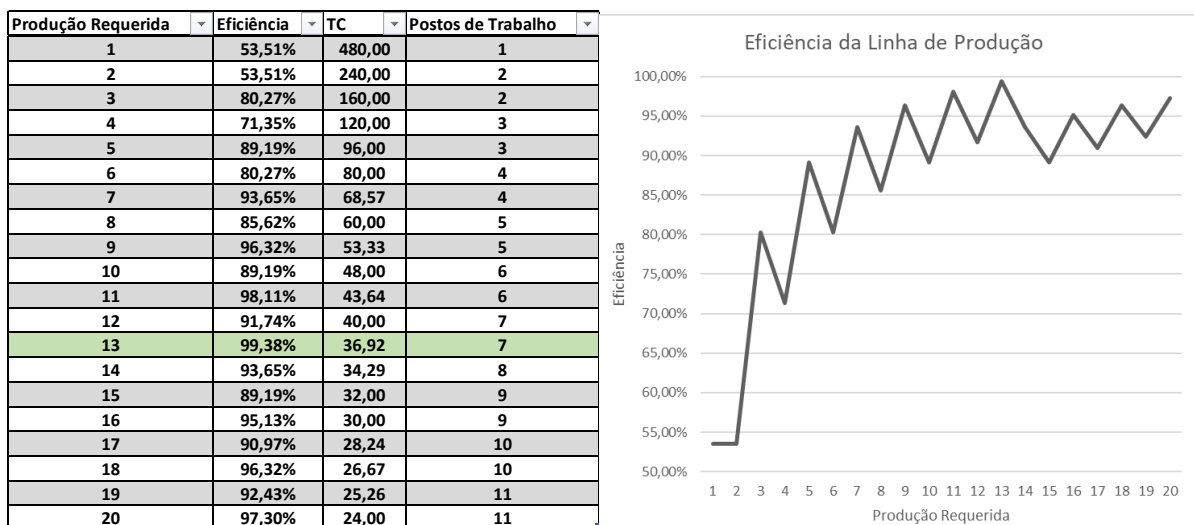


Figura 4.10 - Exercício de cálculo de eficiência da linha produtiva

HIPÓTESES A e B

Alcançados os resultados dos exercícios analíticos experimentados, propôs-se a criação e validação das hipóteses relativas ao processo de balanceamento de linhas em causa. Serão simuladas em software ARENA as hipóteses A e B que caracterizam respetivamente o Cenário 01 e 02 estudados, com o objetivo de aferir quais as consequências das suas implementações num cenário industrial real.

4.3.2 Proposta 07 - Processamento Inapropriado

Durante a recolha de dados e a análise do processo de fabrico verificaram-se episódios de improdutividade de diferente natureza. A improdutividade assistida manifesta-se de várias formas, todas elas classificadas como desperdícios.

Os 2 modos de falha detetados com carácter mais recorrente foram a negligência de operações de controlo e acabamento e a execução de operações de forma apressada ou incompleta. Os pontos comuns partilhados entre estes modos de falha são a sua associação direta a desperdícios produtivos e possibilidade de serem mitigados através de estratégias de planeamento e gestão de produção.

Foram identificadas situações de desregulação da produção e incumprimento de etapas produtivas. Estas foram avaliadas e classificadas como eventos de risco moderado, pela combinação de fatores de risco moderados, *Tabela 4.14*.

Tabela 4.14 - Modo de Falha - Perdas de Gestão II.

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Desempeno e Limagem	Desempeno	Não realização	Baixa Qualidade e Acabamento	4	6	5	120
Desempeno e Limagem	Limagem	Não realização	Baixa Qualidade e Acabamento	4	6	5	120
Soldadura e Controlo	Controlo	Controlo apressado	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	4	4	5	80
Soldadura e Controlo	Controlo	Inexistência de controlo	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	6	4	72

Para além dos modos de falha listados acima, verificou-se ainda um fenómeno de acumulação de stocks e excesso de produção generalizado. Estes eventos, não tendo um risco preocupante, constituem uma fonte de desperdício e uma perda de gestão a considerar.

Tendo sido caracterizados como problemas produtivos com origem em processos de gestão deficiente e pobre planeamento, propõe-se atuar nessa vertente. A proposta em concreto recomenda que se adote uma abordagem Lean, optando por atacar as problemáticas através de uma estratégia de gestão e planeamento dedicada com especial enfoque na implementação de um sistema de sinalização e controlo de ciclos produtivos, como o Kanban.

4.4 Reestruturação

Reestruturação é o termo de gestão empresarial para o ato de reorganização das estruturas de propriedade, legais, operacionais ou outros de uma empresa com a finalidade de torná-la mais rentável, ou mais bem organizada para suas necessidades atuais.

A categoria Reestruturação engloba as operações cujos modos de falha provêm de disfunções e ausência de equipamentos.

A *Tabela 4.15* apresenta os dois modos de falha abrangidos na problemática descrita. Um dos modos de falha a combater caracterizou-se com um grau de risco elevado, sendo esse o problema de carácter mais urgente e preocupante.

Tabela 4.15 - Modos de falha - Reestruturação.

Reestruturação	Movimentação lenta (Pav 04)
	Avaria de equipamento - Decapagem

4.4.1 Proposta 08 - Movimentação lenta (PTS)

O processo produtivo caracteriza-se por um encadeamento de operações sequenciais, executadas em estações de trabalho dedicadas, com o propósito de transformar as matérias a trabalhar. Dado que este é um fenómeno dinâmico o produto em processamento viaja entre estações sofrendo transformações sucessivas. Essa movimentação entre estações de trabalho é assegurada de várias formas, desde o transporte manual, à operação de carros de prateleira até à movimentação auxiliada pela ponte rolante.

Um dos modos de falha verificados reside neste último conjunto de operações, tendo especial destaque nas operações de movimentação no PTS. Verificou-se a existência de dificuldades e atrasos nas operações de movimentação, particularmente no descarregamento de guardas, bem como no processo de alimentação e acondicionamento das mesmas entre processos de transformação. Nesta fase produtiva a movimentação de guardas em processamento é realizada manualmente, sendo em alguns casos auxiliada por um porta-paletes ou por um empilhador. É de sublinhar que neste estágio da produção a guarda já possui a sua dimensão final, tendo da mesma forma o seu peso final. Dada a ausência recorrente do empilhador é bastante comum a utilização do porta-paletes e da mão de obra auxiliada para realizar os carregamentos, descarregamentos e movimentações.

Tabela 4.16- Modo de Falha – Movimentação Lenta – Pavilhão 4.

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Decapagem	Recolha e movimentação de produto em processamento	Movimentação lenta	Improdutividade	9	3	4	108
Metalização	Movimentar ativos metalizados	Movimentação lenta	Improdutividade	9	3	4	108
Aplicação de Primário	Recolha e movimentação de produto em processamento	Movimentação lenta	Improdutividade	9	2	4	72
Pintura (Acabamento)	Movimentar produtos em processamento pintados	Movimentação lenta	Improdutividade	9	2	4	72

Todos estes constrangimentos, incluindo a dificuldade em angariar o segundo elemento para ajudar nas tarefas, já explorado no balanceamento da linha, levam a que este processo decorra a uma velocidade inferior à pretendida, causando, a longo prazo, constrangimentos ao fluxo produtivo. De maneira a ilustrar a intensidade das movimentações no PTS construiu-se um diagrama esparguete “*spaghetti diagram*”, *Figura 4.11*.

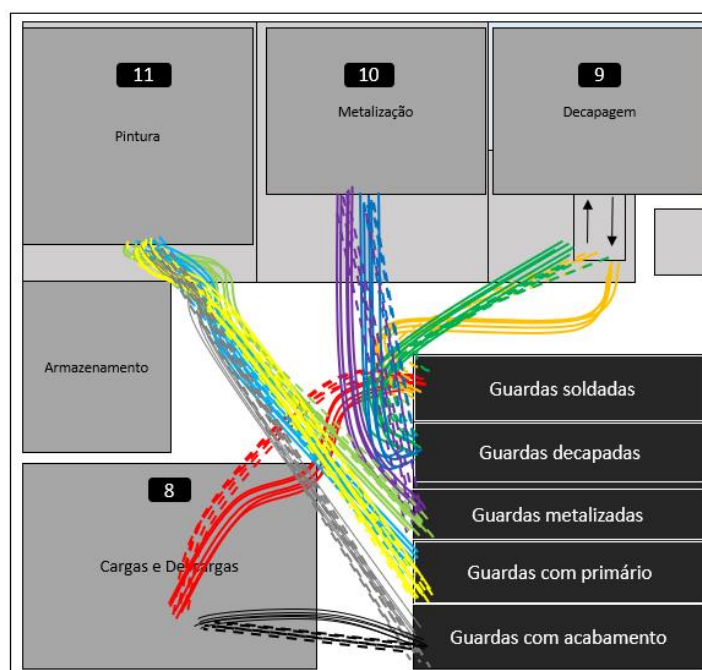


Figura 4.11 - Spaghetti diagram - Movimentações no PTS.

O diagrama de esparguete da *Figura 4.11* ilustra as movimentações que decorrem no pavilhão de tratamentos de superfície aquando da chegada de um lote de 5 guardas metálicas às imediações. As linhas coloridas refletem o trajeto percorrido por dois colaboradores entre as estações de trabalho e a zona de armazenamento, sendo que as linhas sólidas representam viagens com carga e as linhas tracejadas representam viagem sem carga. No total contabilizam-se 10 trajetos diferentes representados individualmente por cada cor.

Este diagrama permite perceber os deslocamentos dos operários ao longo do trabalho. Alguns desses deslocamentos não acrescentam valor, mas, no entanto, são considerados necessários para que as tarefas se realizem.

Após episódios de acompanhamento cronometrado de algumas movimentações, compilou-se a *Tabela 4.17*.

Tabela 4.17 - Duração das movimentações no PTS.

Trajeto	Duração	
	Com carga	Sem carga
	25s	10s
	15s	6s
	20s	8s
	20s	8s
	25s	10s
	30s	12s
	30s	12s
	35s	14s
	40s	16s
	10s	4s

No tratamento de superfícies de uma remessa de 5 guardas metálicas estima-se que são gastos 29 minutos em movimentações. No final de um turno de trabalho, considerando a meta produtiva de 14 guardas metálicas finalizadas, o tempo gasto em movimentações sobe para 1 hora e 21 minutos, quase 17% do turno de 8 horas. *Tabela 4.18*.

Tabela 4.18 - Duração das movimentações necessárias para a execução do tratamento de superfícies de 14 guardas

Trajeto	Duração Diária (s)	
	Com carga	Sem carga
	350	140
	210	84
	280	112
	280	112
	350	140
	420	168
	420	168
	490	196
	560	224
	140	56
Duração Total das Viagens Diárias		
Seg	Min	Horas
4900	81,666667	1,361111

Como forma de atacar este foco de improdutividade propõem-se duas hipóteses que visam aumentar a produtividade e celeridade destas operações. As hipóteses apesar de diferentes consistem na mesma intervenção, a instalação de um equipamento de elevar e movimentar cargas dedicado. Existem formas variadas de implementar esta sugestão, tanto a nível do funcionamento do equipamento, como da complexidade e custo do mesmo.

Foram pensadas duas tipologias de equipamento possíveis, uma mais económica e básica que consiste na instalação de uma grua de coluna orientável, e uma mais dispendiosa e complexa que corresponde à instalação de uma ponte rolante no topo do pavilhão de tratamentos de superfície.

HIPÓTESE D – Instalação de uma Grua de Coluna Orientável

Primeiramente, antes de iniciar o processo de seleção do equipamento realizou-se um levantamento das necessidades dos processos desta zona de trabalhos e recolheu-se informação relativa ao espaço e zona de instalação.

Em termos de requisitos técnicos achou-se por bem que o equipamento fosse instalado numa zona central, mais precisamente entre a zona de cargas e descargas e a zona de armazenamento denominada de “Área Comum”, sendo estas as áreas com um maior fluxo de movimentações, *Figura 4.12*. De forma a aproveitar a máxima potencialidade desta localização aponta-se para uma modelo que possua uma liberdade de movimentos de 360°. No que toca ao alcance o equipamento deverá ter pelo menos 5 metros de comprimento, perfazendo os 10 metros num movimento de 180°. Apesar das restrições de altura não serem diretamente impostas, esta não deverá ser inferior a 3 metros. Por fim a capacidade de carga a grua deverá suportar um carregamento de 500 kg aos 3 metros de vão.

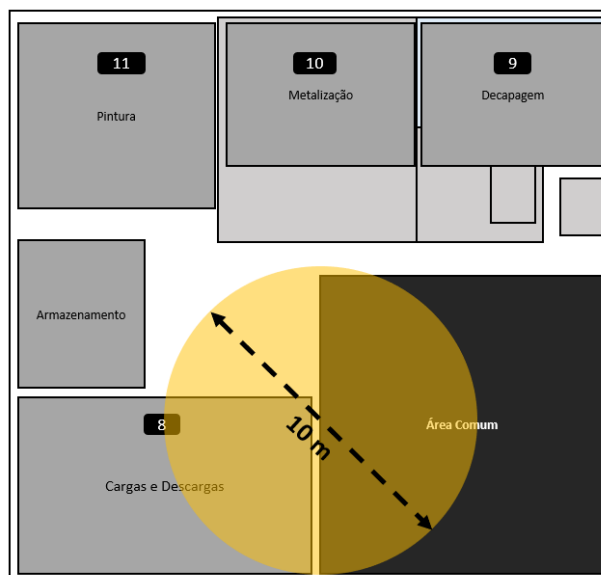


Figura 4.12 - Zona selecionada para instalação da grua de coluna orientável.

Após a realização de uma busca criteriosa foi selecionado o modelo PRIMUS da empresa alemã VETTER Krantechnik GmbH, com parceiros em Portugal.



Figura 4.13 – Grua de coluna orientável. Fonte: <https://www.manutan.pt/pt/map/grua-giratoria-triangular-capacidade-de-250-a-1000-kg-vetter> https://www.kaiserkraft.pt/gruas-orientaveis/c/AZ_83515/brand-Vetter/

Em adição à grua de coluna orientável sugere-se ainda a aquisição de um trolley para auxiliar e agilizar o transporte de artigos entre estações de trabalho e armazenamento. O trolley deve permitir o carregamento e descarregamento de artigos lateralmente, devendo suportar uma carga de 300 kg. Um exemplo do equipamento sugerido aparece ilustrado na *Figura 4.14*.



Figura 4.14-Trolley tipo cavalete . https://es.made-in-china.com/co_tongyongglass/product_Hot-Selling-a-Trolley-for-Glass-Transfer-and-Delivery_rirhhuhyq.html <https://www.export.kaiserkraft.com/trolleys/panel-trolleys/glass-trolley/2-platforms/p/M10157/>

Os modelos sugeridos cumprem todos os requisitos impostos, sendo estes os equipamentos a integrar a hipótese E. Com as especificações técnicas da grua e do seu guincho elétrico é possível desenvolver um modelo pronto a simular as condições da sua operação, permitindo assim testar a hipótese em causa.

HIPÓTESE E – Instalação de uma Ponte Rolante

A hipótese de instalar uma ponte rolante no pavilhão de tratamentos de superfície surge como proposta de resolução para os constrangimentos de movimentação de cargas nessa zona de trabalhos. Os requisitos técnicos a cumprir são a capacidade de atuar entre a área de cargas e descargas e a entrada das câmaras, como apresentado na *Figura 4.15*, e a capacidade de suportar uma carga de pelo menos 500 kg a meio vão. Uma outra imposição, dado o tipo de equipamento, é a possibilidade de ser instalado num local com 18 metros de vão.

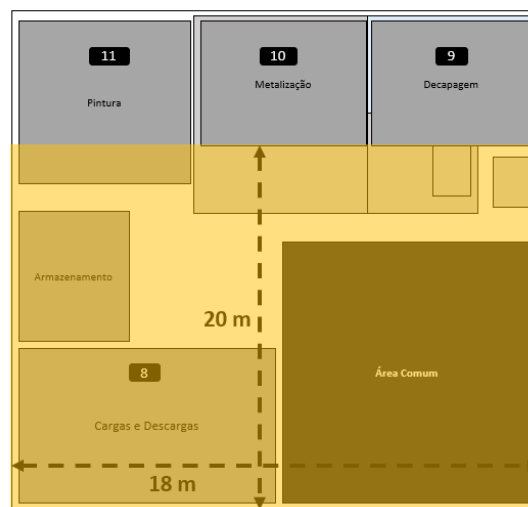


Figura 4.15 - Área de atuação pretendida para a ponte rolante.

Após a realização de uma busca criteriosa foi selecionado o modelo de série C da empresa finlandesa KoneCranes, também com distribuição em Portugal. O modelo aparece ilustrado na *Figura 4.16*.



Figura 4.16 – Ponte rolante selecionada.

Consecutivamente, com base nas especificações técnicas dos equipamentos pretendem-se realizar exercícios teóricos com o intuito de avaliar a viabilidade económica e financeira das duas hipóteses formuladas.

4.4.2 Proposta 09 - Avaria de Equipamento (Alto Risco)

Detetou-se, na avaliação de riscos, um modo de falha de particular relevo. Este modo de falha, caracterizado como de alto risco, foi identificado na operação de decapagem e compreende a “Avaria do equipamento”, *Tabela 4.19*. Constatou-se que o equipamento de recolha de granalha metálica, constituinte essencial do sistema de decapagem, demonstra um funcionamento deficiente, manifestando um défice abrupto na taxa de recolha de granalha resultando num défice significativo na taxa de projeção de granalha a jusante. Este episódio tem carácter recorrente e sempre que se verifica resulta na imobilização do sistema, na interrupção do processo de decapagem e, em alguns casos na imobilização dos processos que se seguem dada a falta de produto a trabalhar.

Tabela 4.19 – Modo de Falha – Avaria no Equipamento de Decapagem.

Etapa	Operações	Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Decapagem	Decapar	Avaria de equipamento	Improdutividade	5	8	6	240

As ações subsequentes a estes eventos são intervenções de manutenção não planeadas de caráter corretivo. Estas intervenções têm uma duração que varia entre 4 a 5 horas, incluindo neste período o tempo de reiniciar o equipamento e de estabilizar o funcionamento.

Com a intensão de ver este fenómeno mitigado propõe-se uma hipótese teórica a estudar.

A hipótese surge como uma forma diferente de atacar o mesmo problema. Embora mais dispendioso propõe-se a substituição equipamento de recolha de granalha metálica por um novo modelo que suprima as necessidades do processo. Assume-se com esta hipótese que a instalação de um novo equipamento trará mais garantias à eficiência do processo, sendo um equipamento mais recente mais dotado de tecnologia e de vida útil superior. Esta hipótese assume ainda que a substituição do ativo trará um retorno financeiro a longo prazo, tratando-se de um investimento.

HIPÓTESE F – Substituir o equipamento por um modelo mais recente

A hipótese de substituir o equipamento de recolha de granalha metálica surge como proposta de resolução para os frequentes episódios de funcionamento deficiente e avaria. Os requisitos técnicos a cumprir são a capacidade de transportar 5 m³/h de granalha metálica e o alcance de operação de 4 metros de altura. Visto que este tipo de sistemas possui aplicações muito particulares, as empresas do ramo oferecem soluções personalizadas às necessidades do cliente. Tendo em conta as empresas que atuam nesta área de negócio, foi selecionada a empresa Syntron, já que o seu modelo *Type 10* cumpria todos os requisitos técnicos e condições impostas.

O sistema selecionado possui um apeto semelhante ao ilustrado na *Figura 4.17*.



Figura 4.17 – Modelo do elevador de alcatruzes proposto. Fonte: <https://syntronmh.com/en/products/engineered-bucket-elevators>

Selecionado o equipamento e determinadas as suas especificações técnicas pretende-se avaliar económica e financeiramente o investimento proposto com o intuito de apoiar a decisão de implementação da hipótese sugerida.

5 SIMULAÇÃO, VALIDAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 ESTADO ATUAL – Modelo Analítico

O exercício académico em causa parte de um acompanhamento e recolha de dados presenciais e permite uma análise ao estado atual do processo produtivo selecionado.

O levantamento de operações, processos de fabrico, postos de trabalho e equipamentos possibilitou a esquematização das atividades e ordem dos trabalhos, permitindo a análise do fluxo produtivo.

Os dados recolhidos foram inseridos numa folha de Excel na qual foram organizados e relacionados através de expressões matemáticas, de maneira que fossem devolvidos os tempos e consumos dos processos quando inseridas as necessidades de produção. Esta folha de Excel representa assim o modelo analítico do estado atual real, (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Folha de cálculo representativa do modelo analítico do processo produtivo.

Modelo Analítico - Estado Atual						
Variáveis	Intensidade	Unidade		Intensidade	Unidade	
Encomenda				10	dias	
Tempo de Encomenda	10	dias		240,00	h	
Descarregamento Arrumação				20	min	
T OP (Arrumação)	20	min		0,33	h	
Corte B1				3294		
				6588	seg	
				1,83	h	
Corte B2				3294		
				6588	seg	
T Setup (OP Corte SB)	42	seg		1,83	h	
T Alim (OP Corte SB)	110	seg				
T OP Corte SB	70	seg				
T Acond (OP Corte SB)	12	seg				
Corte V						
				4556	seg	
T Setup (OP Corte 1V)	20	seg		1,27	h	
T Alim (OP Corte 1V)	10	seg				
T OP Corte 1V	12	seg				
T Acond (OP Corte 1V)	5	seg				
Desempeno e Limagem				5298,6	seg	
% Intervencionada DL	75%			1,47	h	
Qtd. Inter DL	162	un.				
% Intervencionada L	85%					
Qtd. Inter L	137,7	un.				
% Intervencionada D	20%					
Qtd. Inter D	33	un.				
T insp DL	10	seg				
T Lima	18	seg				
T Desemp	20	seg				
T total insp	2160	seg				
T total lima	2478,6	seg				
T total desemp	660	seg				
Puncionamento				1738	seg	
% Punc e Esca (Barras)	87,5%			0,48	h	
Qtd Barras punc e esca	42	un.				
Qtd Barra c/ furo tipo 1	6	un.				
Qtd Barra c/ furo tipo 2	12	un.				
Qtd Barra c/ furo tipo 3	12	un.				
Qtd Barra c/ furo tipo 4	12	un.				
Nº de Furos tipo 1	4	un.				
Nº de Furos tipo 2	2	un.				
Nº de Furos tipo 3	2	un.				
Nº de Furos tipo 4	2	un.				
T Setup 1 (OP Punc B) Mudar ferramenta	120	seg				
T Setup 2 (OP Punc B)	40	seg				
T Alim (OP Punc B)	10	seg				
T OP Punc B	3	seg				
T Acond (OP Punc B)	5	seg				
Escareamento				2058	seg	
T Setup (OP Esca B)	120	seg		0,57	h	
T Alim (OP Esca B)	8	seg				
T OP Esca B	10	seg				
T Acond (OP Esca B)	5	seg				
Qtd. Total Furos	96	un.				
Pré-Montagem				312	min.	
T Molde	180	min		5,20	h	
T Alim (OP PM G)	3	min				
T OP PM G	18	min				
T Acond (OP PM G)	1	min				
Soldadura				440	min.	
T Setup (OP SD G)	1	min		7,33	h	
T Alim (OP SD G)	1	min				
T OP SD G	70	min				
T Acond (OP SD G)	1	min				
% Intervencionada DS	20%	%				
Qtd. Guardas Interv	1	un.				
T Desemp Sold	2	min				
Movimentação				5,6	min.	
Qtd. Mov (nº de guardas)	5	un.		0,09	h	
Nº de transportes	2	un.				
T Alim (OP M G)	0,6	min				
T OP M G	1	min				
Descarregamento e Arrumação				6	min	
T OP De 1G	1	min		0,10	h	
Decapagem				151,8	min	
Lotes de guardas	5	un.		2,53	h	
Nº de lotes de guardas	1,2	un.				
T Setup 1 (OP Decap G) /4h ex:manhã 10+10	20	min				
T Setup 2 (OP Decap G) 2x15s	0,5	min				
T Alim (OP Decap G)	5	min				
T OP Decap G	100	min				
T Acond (OP Decap G)	4	min				
T total produtivo	131,8	min				
Metalização				101,8	min	
Lote Metal	5	un.		1,70	h	
Nº de lotes de guardas	1,2	un.				
T Setup 1 (OP Metal G) 2x15s	0,5	min				
T Alim (OP Metal G)	5	min				
T OP Metal G	75	min				
T Acond (OP Metal G)	4	min				
Aplicação de Primário				100	min	
Lote Apl Prim	5	un.		1,67	h	
Nº de lotes de guardas	1,2	un.				
T Setup 1 (OP Prim G)	0,5	min				
T Alim (OP Prim G)	5	min				
T OP Prim G	75	min				
T Acond (OP Prim G)	2,5	min				
Aplicação de Acabamento				100	min	
Lote Apl Acab	5	un.		1,67	h	
Nº de lotes de guardas	1,2	un.				
T Setup 1 (OP Acab G)	0,5	min				
T Alim (OP Acab G)	5	min				
T OP Acab G	75	min				
T Acond (OP Acab G)	2,5	min				
Carregamento e Transporte				4	h	
Lote (Gua/Cav)	14	un.		4,00	h	
% ocup. cavalete	42,86%					
Qtd. Cavaletes	1	un.				
Lote (Cav/Camião)	4	un.				
% Carga	25,00%					
Qtd. Camiões	1	un.				
T OP Carr C	1	h				
T OP Transp C	3	h				
				TOTAL ACUMULADO	24,41	h
Nº de Guardas				6		

A conjugação das informações já referidas com um registo de tempos decorridos e quantidades processadas permitiu analisar a linha produtiva e caracterizá-la quanto às suas eficiências e folgas.

Do exercício teórico do capítulo 4.3 concluiu-se que, com a duração das operações e a sua sequência, a produtividade máxima diária considerando uma jornada de trabalho de 8h seria de cerca de 6,57 guardas metálicas produzidas por dia, correspondendo à fabricação de uma unidade a cada 73 minutos.

Da folha de Excel conseguimos retirar uma conclusão equivalente, pois quando inseridas as necessidades de produção de 6 guardas, a atividade gargalo, Soldadura, apresenta a duração de 7,33h.

Retira-se deste exercício que são produzidas diariamente 6 unidades completas, valor próximo das 8 unidades contabilizadas no final do turno em fábrica.

5.1.1 Simulação

Por forma a validar os resultados obtidos pela via analítica, contruiu-se um modelo em software *ARENA* na tentativa de replicar os resultados verificados no sistema real. A construção do modelo foi sequencial e iterativa, tendo-se iniciado a modelação pelos primeiros processos do sistema produtivo terminando nos processos finais. A abordagem adotada foi a de reproduzir o sistema real, representado pelas fórmulas e funções da folha de cálculo de Excel, utilizando em ambiente de simulação módulos representativos dos processos com lógicas equivalentes (*Figura 5.1*).

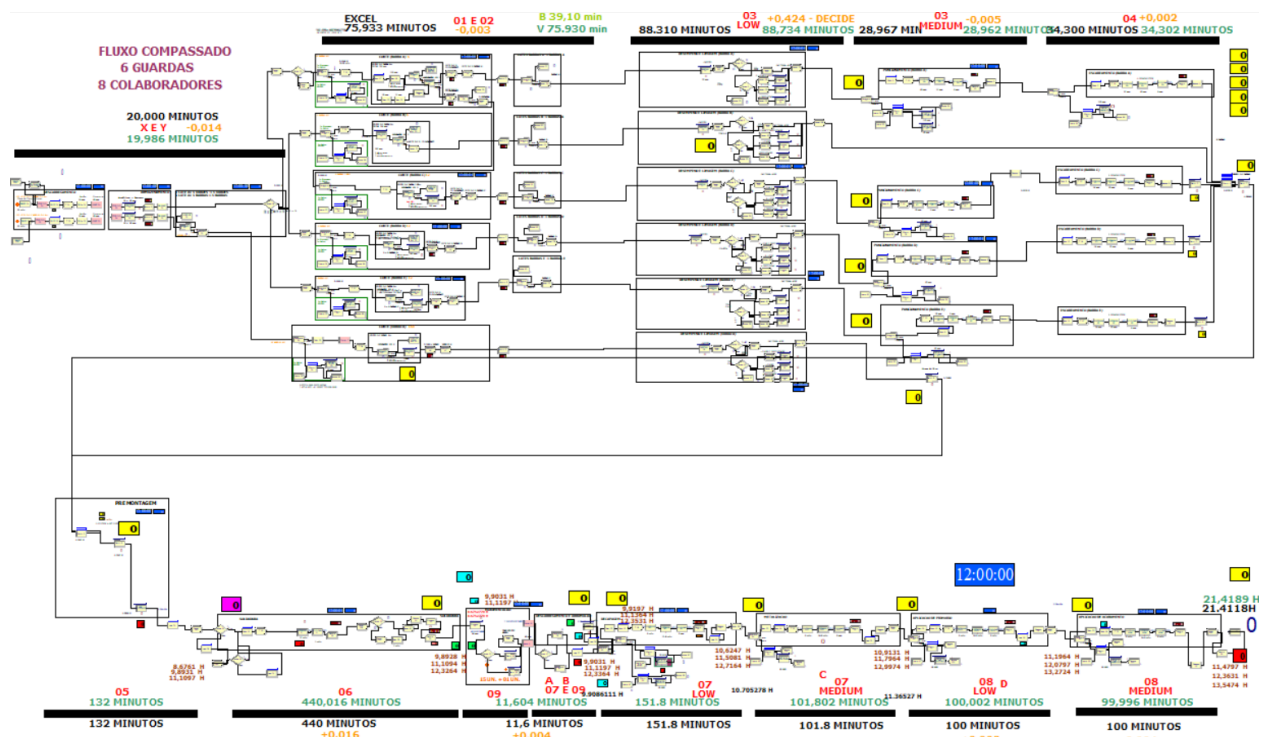


Figura 5.1 - Representação do modelo de simulação em software ARENA.

O primeiro ponto a concretizar passou pela validação do modelo, comparando os resultados obtidos via analítica (Excel) com os resultados obtidos no modelo estocástico discreto (ARENA).

Devido ao facto de o modelo analítico não representar simultaneidade de operações, reproduziu-se esse comportamento no modelo simulável através da criação de *buffers* na forma de módulos *HOLD* que retêm os artigos na fase final de cada processo sendo estes libertados apenas quando o processo consequente libertar as suas entidades retidas, criando um fluxo produtivo compassado e síncrono (Figura 5.2).

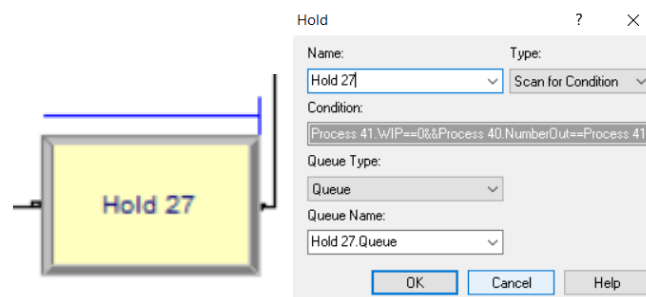


Figura 5.2 - Aspeto e configuração de módulo HOLD.

Com o propósito de “afinar” o modelo procedeu-se à simulação do mesmo utilizando distribuições sem estocástica tendo-se trabalhado com tempos constantes para permitir a comparação de resultados (Figura 5.3).

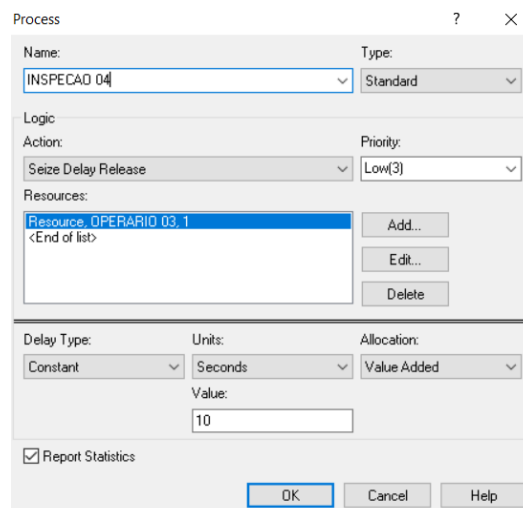


Figura 5.3 - Configuração de módulo Process com distribuições sem estocástica.

Dado que o processo produtivo em estudo é interrompido por uma atividade de transporte que exige um acumulado de 5 entidades para ser executada, foi introduzido um período de

aquecimento “*warm-up period*” durante o qual fossem processadas as 5 unidades de forma que o intervalo de espera dessa atividade não se refletisse no período simulado. No modelo trabalhado o tempo de aquecimento foi de 8,67 horas (*Figura 5.4*).

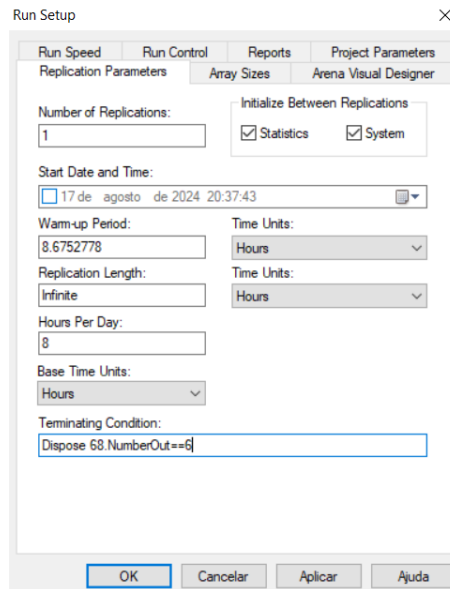


Figura 5.4 - Configuração do modelo de replicação do cenário real. Produção de 6un.

5.1.2 Resultados, Análise e Validação

Depois de corrido o modelo constatou-se que, para executar 6 guardas metálicas foram necessárias 8,89 horas (*Figura 5.5*).

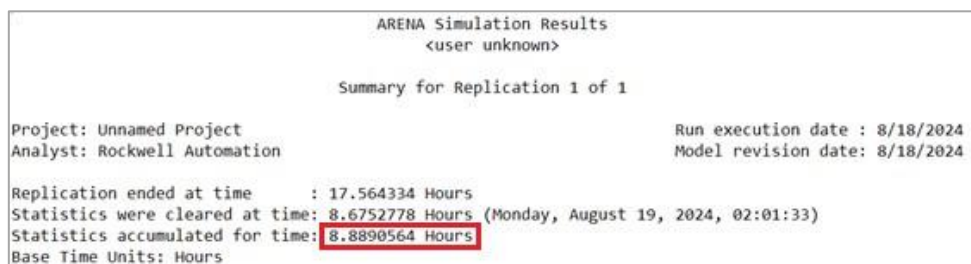


Figura 5.5 - Resultados da simulação de replicação do cenário real. Produção de 6 un.

A diferença para as 7,33 horas esperadas no modelo analítico tem que ver com o facto de o primeiro ciclo de produção ser mais demorado dada a interdependência das operações e o facto das tarefas a jusante necessitarem de processar artigos fornecidos pelas tarefas a montante. O resultado deste episódio é que o primeiro ciclo produtivo demora 168,7 minutos ao invés dos 73 espectáveis (*Tabela 5.2*). Esta diferença de 95,7 minutos separa as 7,33 horas do modelo analítico das 8,93 horas do modelo simulado.

Tabela 5.2 - Cálculo do ciclo de preparação. Cenário Real.

Cenário Real - Exercício Analítico				
		Operação	Duração	Unidade
1º Ciclo (Ciclo de preparação)		Soldadura	73	min.
		Alimentação	0,6	min.
		Transporte	1	min.
		Setup 1 Decapagem	20	min.
		Setup 2 Decapagem	1	min.
		Decapagem	21,8	min.
		Setup Metalização	0,5	min.
		Metalização	16,8	min.
		Setup Apl. Primário	0,5	min.
		Aplicação de Primário	16,5	min.
		Setup Acabamento	0,5	min.
		Acabamento	16,5	min.
	168,7	min.		
2,811667	h			
2º Ciclo	Tempo de ciclo	73	min.	
3º Ciclo	Tempo de ciclo	73	min.	
4º Ciclo	Tempo de ciclo	73	min.	
5º Ciclo	Tempo de ciclo	73	min.	
6º Ciclo	Tempo de ciclo	73	min.	
	Total	533,7	min.	
		8,895	h	

Nova Abordagem

O facto de o modelo analítico permitir apenas calcular a duração das tarefas com base nas exigências de produção de forma isolada, atividade a atividade, é um fator limitativo desta representação do sistema, demonstrando um comportamento estático e limitado.

O modelo de simulação, por permitir simultaneidade e maior dependência entre processos aparenta um comportamento dinâmico, estando mais próximo do verificado em fábrica.

De forma a ultrapassar o fenómeno do ciclo de preparação, optou-se por analisar os modelos segundo uma nova abordagem, baseada no pressuposto de que as primeiras 2,81h de simulação são desconsideradas. Assim, para estudar a produção de 6 guardas metálicas é simulado um modelo que produz 7 guardas, sendo posteriormente subtraída a duração do ciclo de preparação, como descrito na equação 5.1.

$$T_n \text{ ciclos} = T_{n+1} \text{ ciclos} - T_{\text{ciclo de preparação}} \quad (5.1)$$

$T_n \text{ ciclos}$ – Duração da simulação do modelo com n ciclos

$$T_6 \text{ ciclos} = T_7 \text{ ciclos} - T_{\text{ciclo de preparação}} \quad (5.1)$$

$T_{\text{ciclo de preparação}} = 2,8117h$

Aplicando a nova abordagem simulou-se o modelo cuja condição de término é a produção de 7 guardas metálicas. Registrou-se uma duração de processo de 10,11h como apresentado na *Figura 5.6*.

```

ARENA Simulation Results
<user unknown>

Summary for Replication 1 of 1

Project: Unnamed Project                               Run execution date : 9/ 3/2024
Analyst: Rockwell Automation                           Model revision date: 9/ 3/2024

Replication ended at time      : 18.782948 Hours
Statistics were cleared at time: 8.6752778 Hours (Wednesday, September 04, 2024, 02:01:33)
Statistics accumulated for time: 10.10767 Hours
Base Time Units: Hours

```

Figura 5.6 - Resultados da simulação de replicação do cenário real. Produção de 7un.

Substituindo os valores obtidos na equação 23, temos que:

$$10,1077h - 2,8117h = 7,296h \quad (5.1)$$

Comparando este resultado com as 7,33 horas de duração resultantes do modelo analítico, Tabela 5.1, consegue calcular-se o erro/desvio associado.

Cálculo do erro:

$$Erro = \frac{|VMA - VMS|}{VMA} \times 100 \quad (5.2)$$

VMA – Valor do Modelo Analítico

VMS – Valor do Modelo Simulado

$$Erro = \frac{|7,330 - 7,296|}{7,330} \times 100 = 0,46\% \quad (5.2)$$

Verificando-se um erro inferior a 10% a separar os resultados dos modelos analítico e de simulação, conclui-se que o modelo simulável reproduz de forma fiel o comportamento do modelo analítico e por essa razão cumpre o critério de validação.

5.1.3 Relatório Final – Simulação do Cenário Real

Após a simulação do modelo o *software* devolve um relatório final com uma compilação das variáveis recolhidas durante o período de simulação. Como elemento de referência foi escolhida a simulação que replica o cenário real de fabricação de 6 guardas metálicas. O relatório de resultados do modelo está expresso na *Tabela 5.3*.

Tabela 5.3 - Relatório de simulação - Cenário Real - 6 Guardas.

CENÁRIO REAL - SIMULAÇÃO 6 GUARDAS		
Período de Warm Up	8,68	h
Duração do Processo	8,89	h
PONTE ROLANTE.NumberSeized	6	un
PONTE ROLANTE.ScheduledUtilization	0,68%	
EQPMT DE PINT.NumberSeized	16	un
EQPMT DE PINT.ScheduledUtilization	37,49%	
OPERARIO 01.NumberSeized	75	un
OPERARIO 01.ScheduledUtilization	44,99%	
OPERARIO 02.NumberSeized	330	un
OPERARIO 02.ScheduledUtilization	27,84%	
OPERARIO 03.NumberSeized	1615	un
OPERARIO 03.ScheduledUtilization	91,66%	
OPERARIO 04.NumberSeized	365	un
OPERARIO 04.ScheduledUtilization	49,00%	
OPERARIO 05.NumberSeized	11	un
OPERARIO 05.ScheduledUtilization	45,36%	
OPERARIO 06.NumberSeized	6	un
OPERARIO 06.ScheduledUtilization	82,48%	
OPERARIO 07.NumberSeized	23	un
OPERARIO 07.ScheduledUtilization	48,66%	
OPERARIO 08.NumberSeized	16	un
OPERARIO 08.ScheduledUtilization	37,49%	
MAQ DE PUNCIÓNAR.NumberSeized	365	un
MAQ DE PUNCIÓNAR.ScheduledUtilization	36,98%	
OPERARIO 09.NumberSeized	12	un
OPERARIO 09.ScheduledUtilization	1,80%	
EQPMT DE METAL.NumberSeized	8	un
EQPMT DE METAL.ScheduledUtilization	19,08%	
EMPILHADOR.NumberSeized	12	un
EMPILHADOR.ScheduledUtilization	1,80%	
MAQ SOLD 01.NumberSeized	11	un
MAQ SOLD 01.ScheduledUtilization	45,36%	
MAQ SOLD 02.NumberSeized	6	un
MAQ SOLD 02.ScheduledUtilization	82,48%	
ZONA DE ARRUMACAO 01.NumberSeized	9	un
ZONA DE ARRUMACAO 01.ScheduledUtilization	1,38%	
ZONA DE ARRUMACAO 02.NumberSeized	11	un
ZONA DE ARRUMACAO 02.ScheduledUtilization	1,68%	
SERROTE DE FITA 01.NumberSeized	69	un
SERROTE DE FITA 01.ScheduledUtilization	41,39%	
SERROTE DE FITA 02.NumberSeized	6	un
SERROTE DE FITA 02.ScheduledUtilization	3,60%	
ENG DE FURAR 01.NumberSeized	365	un
ENG DE FURAR 01.ScheduledUtilization	49,00%	
MARTELO E TORNO 01.NumberSeized	110	un
MARTELO E TORNO 01.ScheduledUtilization	8,45%	
SERROTE DE DISCO 01.NumberSeized	330	un
SERROTE DE DISCO 01.ScheduledUtilization	27,84%	
EQPMT DE DECAP.NumberSeized	9	un
EQPMT DE DECAP.ScheduledUtilization	28,46%	
LIMA 01.NumberSeized	453	un
LIMA 01.ScheduledUtilization	27,23%	
System.NumberOut	200	un

Dos dados apresentados na Tabela 5.3 retira-se que, os operários com maior taxa de ocupação são o OPERÁRIO 03 e o OPERÁRIO 06. Da mesma forma constata-se que, isolado como o recurso mais utilizado, está a MÁQUINA DE SOLDAR 02 responsável pela operação de Soldadura, que constitui a atividade gargalo deste sistema produtivo. Verifica-se ainda uma discrepância considerável das taxas de ocupação entre colaboradores, espelhando o desequilíbrio de linha produtiva previsto no modelo analítico. A taxa de ocupação média dos colaboradores medida foi de 53,44%.

5.2 PROPOSTA 01.1 BALANCEAMENTO DE LINHA 01

A validação do modelo do estado atual demonstra a capacidade do mesmo para replicar o processo real.

Após validação o modelo encontra-se apto para atacar alguns problemas detetados no processo e testar hipóteses sugeridas no capítulo anterior.

5.2.1 Plano de Ação

Confirmando-se a ineficiência produtiva do estado atual de funcionamento da linha de produção, optou-se por explorar a hipótese de equilibrar a linha produtiva mantendo a meta produtiva de 6 unidades diárias, e minimizando o número de estações de trabalho necessárias para a concretizar. Este exercício propõe-se a resolver o problema de dimensionamento verificado, reorganizando o fluxo produtivo.

A técnica de balanceamento de linha implementada no capítulo 4.3 permitiu concluir que, na teoria, com apenas 4 postos de trabalho seria possível cumprir a meta produtiva. Para isso seria necessário reorganizar os postos de trabalho bem como as tarefas de cada colaborador.

De forma a confirmar a hipótese descrita recorreu-se à ferramenta de simulação *ARENA* para testar os efeitos da reorganização teorizada no modelo validado.

5.2.2 Simulação

A fim de testar a hipótese proposta implementaram-se algumas alterações no modelo *ARENA*. Neste exercício a estrutura do modelo não sofreu alterações mantendo-se o número de processos bem como a sua sequência. Todo o esquema de fluxogramas e blocos se manteve inalterado não afetando a lógica do modelo.

A principal intervenção no modelo foi a reorganização dos recursos pelos processos pré-existentes. Os recursos alterados foram exclusivamente os operários destacados a cada tarefa, sendo que cada processo se manteve diretamente associado aos equipamentos e ferramentas que permitem a sua execução.

Os trabalhos no modelo ARENA consistiram na atribuição do operário 01 às seis primeiras operações desde a operação A à F, bem como às operações I e J, a atribuição do operário 02 às tarefas G e K, a atribuição do operário 03 à operação crítica H e, por fim, a atribuição do operário 04 às operações L, M, N e O, (Figura 5.7).

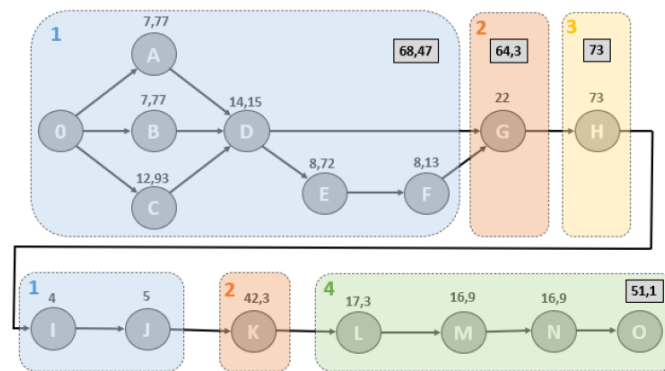


Figura 5.7 - Esquema de balanceamento de linhas 01.

Por exemplo o processo de desempenho, integrante da operação D “Desempeno e Limagem”, era desempenhado pelo operário 03 no modelo do estado atual e passou a ser desempenhado pelo operário 01. Note-se que como descrito anteriormente o recurso relativo aos equipamentos e/ou ferramentas se manteve inalterado (Figura 5.8).

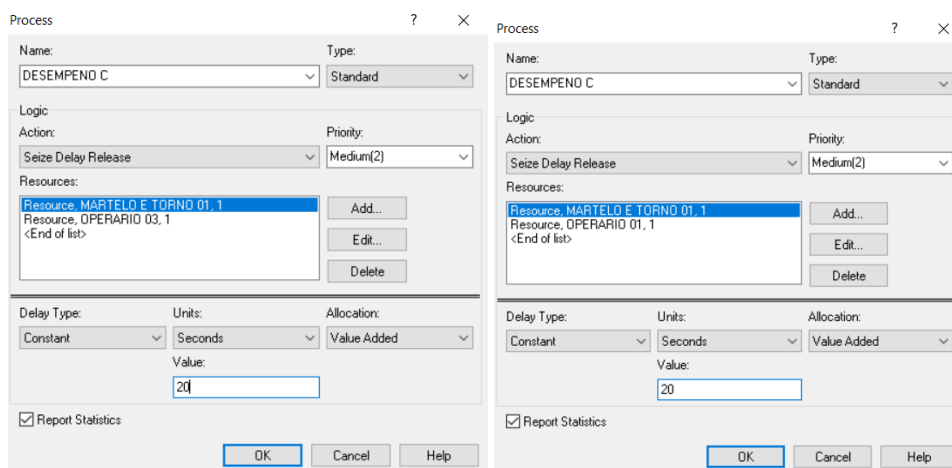


Figura 5.8 - Alteração da configuração dos módulos Process. Antes (esquerda). Depois (direita).

As alterações descritas foram implementadas em todos os processos de maneira a refletir a distribuição de trabalhos proposta no exercício de balanceamento de linhas 01.

Importante ainda referir que, na construção deste modelo, pelas razões explicadas anteriormente, foi considerado um período de aquecimento para a execução das primeiras 5 guardas cuja duração foi de 15,14h. A justificação do aumento do tempo de aquecimento das 8,67 horas anteriormente registadas para as 15,14h reside no facto de existirem menos colaboradores envolvidos no processo que acumulam responsabilidades entre postos de trabalho o que resulta numa maior inércia do processo até alcançar a “velocidade cruzeiro” esperada. A configuração do modelo simulado é a apresentada na *Figura 5.9*.

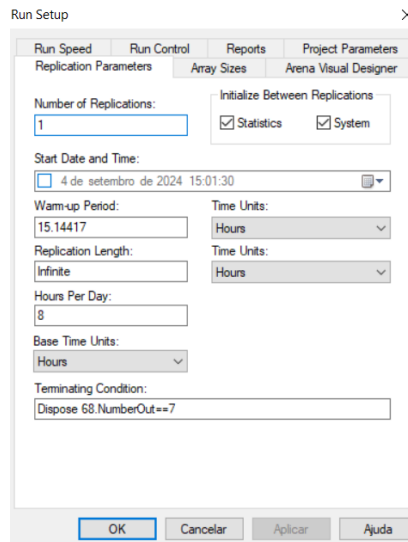


Figura 5.9 - Configuração do modelo de replicação do cenário balanceado 01. Produção de 7un.

5.2.3 Resultados e Análise

Tal como no exercício de validação do modelo, optou-se por analisar os modelos segundo a nova abordagem, baseada no pressuposto de que as primeiras 2,81h de simulação são desconsideradas.

O resultado da simulação deste modelo foi a execução de 7 guardas metálicas em 10,85 horas, como indica a *Figura 5.10*.

```

ARENA Simulation Results
<user unknown>

Summary for Replication 1 of 1

Project: Unnamed Project
Analyst: Rockwell Automation

Run execution date : 9/ 4/2024
Model revision date: 9/ 4/2024

Replication ended at time : 25.993501 Hours
Statistics were cleared at time: 15.14417 Hours (Thursday, September 05, 2024, 21:25:57)
Statistics accumulated for time: 10.849331 Hours
Base Time Units: Hours
    
```

Figura 5.10 - Resultados da simulação de replicação do cenário balanceado 01. Produção de 6un.

Substituindo os valores obtidos na equação (5.1), temos que:

$$10,8493h - 2,8117h = 8,0376h \quad (5.1)$$

$$T_{\text{ciclo preparatório}} = 2,8117h$$

A duração do processo de produção de 6 guardas metálicas resultante do exercício analítico de balanceamento de linhas 01 pode ser calculada através da equação (5.3).

$$T_{\text{processo prod.}} = T_{\text{c praticado}} \times \text{Prod.} \quad (5.3)$$

$T_{\text{processo prod.}}$ → Duração do processo de produção

$T_{\text{c praticado}}$ → Tempo de ciclo praticado

Prod. → Produção (un.)

$$\begin{aligned} T_{\text{processo prod.}} &= 73,333 \times 6 \leftrightarrow \\ \leftrightarrow T_{\text{processo prod.}} &= 440 \text{ min} = 7,333h \end{aligned} \quad (5.3)$$

Comparando este resultado com a duração do modelo de simulação consegue calcular-se o erro/desvio associado.

Cálculo do erro:

$$\text{Erro} = \frac{|7,333 - 8,0376|}{7,333} \times 100 = 9,61\% \quad (5.2)$$

Da simulação do cenário de balanceamento de linhas 01 verifica-se que, os 4 colaboradores conseguem fabricar as 6 guardas metálicas num período ligeiramente superior às 8 horas determinadas para um turno diário. Retira-se ainda que, comparativamente ao resultado esperado, proveniente do modelo analítico, o modelo simulado apresenta um erro considerável de 9,61%.

Desta forma conclui-se que a hipótese A reúne condições para ser dada como válida, sendo que em engenharia é aceitável um erro inferior a 10%.

5.2.4 Relatório Final – Simulação BL01

O relatório final da simulação do cenário balanceado 01 compilou o número de utilizações e a taxas de ocupação dos recursos utilizados no processo (*Tabela 5.4*).

Após análise deste, é possível perceber que esta organização de trabalhos sobrecarrega o OPERÁRIO 01 visto que é registada uma ocupação de 100% deste recurso durante o processo, sendo conclusivo que o ritmo do OPERÁRIO 01 determina o ritmo do processo produtivo. Por outro lado, é possível perceber que existem folgas na ocupação dos restantes colaboradores, sendo que seria apropriado estudar uma nova redistribuição da carga de trabalho.

Tabela 5.4 - Relatório de simulação - Cenário Real vs. Cenário Balanceado 01. 6 Guardas.

	CENÁRIO REAL - SIMULAÇÃO 6 GUARDAS 8 COLABORADORES		CENÁRIO BALANCEADO 01 - SIMULAÇÃO 6 GUARDAS 4 COLABORADORES		DIF	
Periodo de Warm Up	8,68	h	14,72	h	6,05	h
Duração do Processo	8,89	h	8,56	h	-0,33	h
PONTE ROLANTE.NumberSeized	6	un	6	un	0	un
PONTE ROLANTE.ScheduledUtilization	0,68%		0,69%		0,02%	
EQPMT DE PINT.NumberSeized	16	un	16	un	0	un
EQPMT DE PINT.ScheduledUtilization	37,49%		38,43%		0,94%	
OPERARIO 01.NumberSeized	75	un	1047	un	972	un
OPERARIO 01.ScheduledUtilization	44,99%		100,00%		55,01%	
OPERARIO 02.NumberSeized	330	un	12	un	-318	un
OPERARIO 02.ScheduledUtilization	27,84%		57,65%		29,81%	
OPERARIO 03.NumberSeized	1615	un	6	un	-1609	un
OPERARIO 03.ScheduledUtilization	91,66%		84,55%		-7,12%	
OPERARIO 04.NumberSeized	365	un	24	un	-341	un
OPERARIO 04.ScheduledUtilization	49,00%		76,99%		27,99%	
OPERARIO 05.NumberSeized	11	un	-	-	-	-
OPERARIO 05.ScheduledUtilization	45,36%		-	-	-	-
OPERARIO 06.NumberSeized	6	un	-	-	-	-
OPERARIO 06.ScheduledUtilization	82,48%		-	-	-	-
OPERARIO 07.NumberSeized	23	un	-	-	-	-
OPERARIO 07.ScheduledUtilization	48,66%		-	-	-	-
OPERARIO 08.NumberSeized	16	un	-	-	-	-
OPERARIO 08.ScheduledUtilization	37,49%		-	-	-	-
MAQ DE PUNCONAR.NumberSeized	365	un	290	un	-75	un
MAQ DE PUNCONAR.ScheduledUtilization	36,98%		11,59%		-25,38%	
EQPMT DE METAL.NumberSeized	8	un	8	un	0	un
EQPMT DE METAL.ScheduledUtilization	19,08%		19,56%		0,48%	
EMPILHADOR.NumberSeized	12	un	12	un	0	un
EMPILHADOR.ScheduledUtilization	1,80%		1,85%		0,05%	
MAQ SOLD 01.NumberSeized	11	un	11	un	0	un
MAQ SOLD 01.ScheduledUtilization	45,36%		46,91%		1,55%	
MAQ SOLD 02.NumberSeized	6	un	6	un	0	un
MAQ SOLD 02.ScheduledUtilization	82,48%		84,55%		2,07%	
ZONA DE ARRUMACAO 01.NumberSeized	9	un	9	un	0	un
ZONA DE ARRUMACAO 01.ScheduledUtilization	1,38%		1,41%		0,03%	
ZONA DE ARRUMACAO 02.NumberSeized	11	un	11	un	0	un
ZONA DE ARRUMACAO 02.ScheduledUtilization	1,68%		1,73%		0,04%	
SERROTE DE FITA 01.NumberSeized	69	un	35	un	-34	un
SERROTE DE FITA 01.ScheduledUtilization	41,39%		21,17%		-20,22%	
SERROTE DE FITA 02.NumberSeized	6	un	6	un	0	un
SERROTE DE FITA 02.ScheduledUtilization	3,60%		3,69%		0,09%	
ENG DE FURAR 01.NumberSeized	365	un	290	un	-75	un
ENG DE FURAR 01.ScheduledUtilization	49,00%		15,44%		-33,57%	
MARTELO ETORNO 01.NumberSeized	110	un	103	un	-7	un
MARTELO ETORNO 01.ScheduledUtilization	8,45%		1,44%		-7,01%	
SERROTE DE DISCO 01.NumberSeized	330	un	330	un	0	un
SERROTE DE DISCO 01.ScheduledUtilization	27,84%		28,53%		0,70%	
EQPMT DE DECAP.NumberSeized	9	un	9	un	0	un
EQPMT DE DECAP.ScheduledUtilization	28,46%		29,17%		0,71%	
LIMA 01.NumberSeized	453	un	409	un	-44	un
LIMA 01.ScheduledUtilization	27,23%		5,18%		-22,05%	
System.NumberOut	200	un	165	un	-35	un

Quanto à comparação de cenários pode-se concluir que a nova organização de mão de obra levou a um aumento significativo da ocupação dos operários, sendo de destacar a ocupação do OPERARIO 01 que viu a sua ocupação passar para mais do dobro, enquanto o OPERARIO 03, que liderava em ocupação no cenário real, ficou com menos carga de trabalho. Esta transformação é indicativa de um balanceamento da linha, dado que taxas de ocupação se aproximaram entre si. Conseguiu-se ainda uma melhoria na taxa média de ocupação dos colaboradores que subiu para os 79,8%.

5.3 PROPOSTA 01.2 BALANCEAMENTO DE LINHA 02

5.3.1 Plano de Ação

Uma segunda abordagem ao problema de eficiência produtiva verificado é o balanceamento da linha por meio de um aumento da ocupação de cada posto de trabalho, explorando o potencial dos 8 colaboradores existentes.

Esta estratégia ambiciosa aumenta a produtividade diária da linha aumentando a produtividade individual de cada posto de trabalho. A técnica de balanceamento de linha implementada no capítulo anterior permitiu concluir que, na teoria, seria praticável com 8 postos de trabalho executar 14 guardas metálicas por dia.

A cadência produtiva de uma guarda a cada 34,29 minutos seria alcançada através de uma reestruturação das operações, permitindo que cada posto de trabalho pudesse ser dividido por vários colaboradores, pressupondo a aquisição de mais equipamentos e ferramentas resultando na complexificação da ordem de trabalhos.

Em suma, através desta estratégia seria possível maximizar a ocupação e produtividade de cada posto de trabalho alcançando-se uma eficiência produtiva teórica de 93,64%.

Com o propósito de confirmar a exequibilidade desta proposta procurou-se traduzir esta nova estrutura e organização resultantes do exercício de balanceamento de linhas 02, *Figura 5.11*, no modelo simulável.

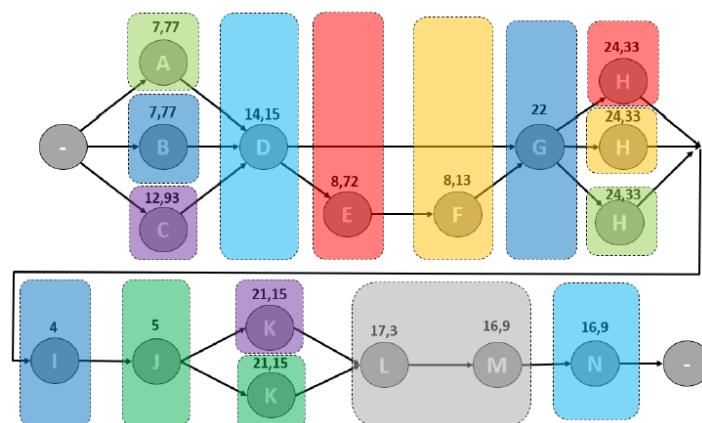


Figura 5.11 - Esquema de balanceamento de linhas 02.

5.3.2 Simulação

Tal como no ensaio anterior, a estrutura do modelo de ARENA foi mantida, tendo sido alterados os recursos de cada processo, em particular a distribuição de colaboradores por posto de trabalho.

Além da distribuição de recursos a construção deste modelo exigiu a divisão de postos de trabalho, como foi o caso da estação de Soldadura, posto H. Este subsistema do modelo foi dividido em 3 postos de trabalho tendo sido atribuídos a este 3 colaboradores, bem como 3 equipamentos de soldadura MIG/MAG.

Esta estratégia foi adotada assumindo o princípio de que um aumento de recursos se traduz num aumento de produtividade na mesma proporção. Assim sendo, tendo a estação de soldadura o triplo dos recursos, alterou-se a duração da operação para um terço do inicialmente previsto. Estas alterações estão ilustradas na *Figura 5.12*.

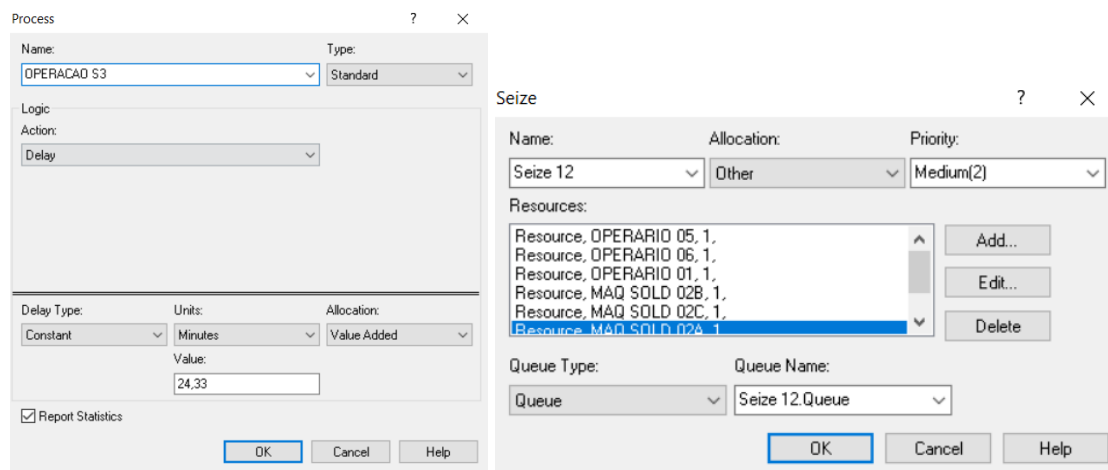


Figura 5.12 - Alteração da configuração dos módulos Process. Modificação da duração (esquerda). Modificação de recursos (direita).

Uma estratégia semelhante foi utilizada na estação de decapagem, posto K.

Neste modelo, pelas razões discutidas nos anteriores ensaios, foi considerado um período de aquecimento para a execução das primeiras 5 guardas cuja duração foi de 6,75h. A configuração do modelo simulado apresenta-se na *Figura 5.13*.

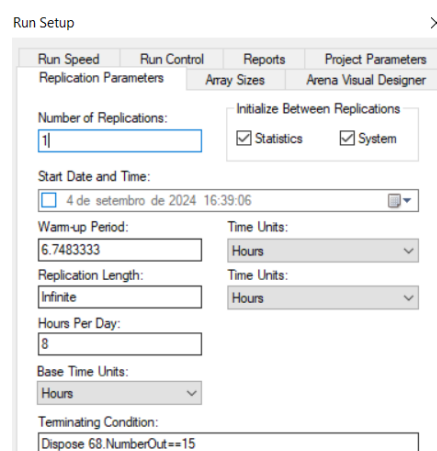


Figura 5.13 - Configuração do modelo de replicação do cenário balanceado 02. Produção de 15un.

5.3.3 Resultados e Análise

O resultado da simulação deste modelo foi a execução de 15 guardas metálicas em 10,60 horas, como indica a *Figura 5.14*.

ARENA Simulation Results	
<user unknown>	
Summary for Replication 1 of 1	
Project: Unnamed Project	Run execution date : 9/ 4/2024
Analyst: Rockwell Automation	Model revision date: 9/ 4/2024
Replication ended at time : 17.35167 Hours	
Statistics were cleared at time: 6.7483333 Hours (Wednesday, September 04, 2024, 20:14:42)	
Statistics accumulated for time: 10.603337 Hours	
Base Time Units: Hours	

Figura 5.14 - Resultados da simulação de replicação do cenário balanceado 02. Produção de 15un.

Neste cenário de simulação o fenómeno do ciclo de preparação foi também contornado. Neste caso em particular, dadas as alterações aos processos de Soldadura e Decapagem que viram a sua duração encurtada, a duração do ciclo de preparação reduziu para as 1,82h, *Tabela 5.5*.

Tabela 5.5 - Cálculo do ciclo de preparação. Cenário Balanceado 02.

Cenário Balanceado 02 - Exercício Analítico				
		Operação	Duração	Unidade
1º Ciclo (Ciclo de preparação)		Soldadura	24,33	min.
		Alimentação	0,6	min.
		Transporte	1	min.
		Setup 1 Decapagem	20	min.
		Setup 2 Decapagem	1	min.
		Decapagem	10,9	min.
		Setup Metalização	0,5	min.
		Metalização	16,8	min.
		Setup Apl. Primário	0,5	min.
		Aplicação de Primário	16,5	min.
		Setup Acabamento	0,5	min.
		Acabamento	16,5	min.
109,1333	min.			
1,818889	h			
2º Ciclo	Tempo de ciclo	34,2	min.	
3º Ciclo	Tempo de ciclo	34,2	min.	
4º Ciclo	Tempo de ciclo	34,2	min.	
5º Ciclo	Tempo de ciclo	34,2	min.	
6º Ciclo	Tempo de ciclo	34,2	min.	
	Total	280,1333	min.	
		4,668889	h	

Assim, para estudar a produção de 14 guardas metálicas é simulado um modelo que produz 15 guardas, sendo posteriormente subtraída a duração do ciclo de preparação, como descrito na equação 5.1.

$$T_{14 \text{ ciclos}} = T_{15 \text{ ciclos}} - T_{\text{ciclo preparatório}} \quad (5.1)$$

$$T_{\text{ciclo preparatório}} = 1,8189h$$

$T_{n \text{ ciclos}}$ – Duração da simulação do modelo com n ciclos

Substituindo os valores obtidos na equação (5.1), temos que:

$$10,6033h - 1,8189h = 8,7844h \quad (5.1)$$

A duração do processo de produção de 14 guardas metálicas resultante do exercício analítico de balanceamento de linhas 02 pode ser calculada através da equação (5.3).

$$T_{\text{processo prod.}} = T_{\text{c praticado}} \times \text{Prod.} \quad (5.3)$$

$T_{\text{processo prod.}}$ → Duração do processo de produção

$T_{\text{c praticável}}$ → Tempo de ciclo praticado

Prod. → Produção (un.)

Sabendo que o tempo de ciclo praticado corresponde à duração dos trabalhos do posto de trabalho mais ocupado, retiramos do capítulo 4.3 um tempo de ciclo praticado de 34,2 minutos. Substituindo valores na equação (5.3) temos:

$$\begin{aligned} T_{\text{processo prod.}} &= 34,20 \times 14 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow T_{\text{processo prod.}} &= 478,8 \text{ min} = 7,98h \end{aligned} \quad (5.3)$$

Comparando este resultado a duração do modelo simulado consegue calcular-se o erro/desvio associado.

Cálculo do erro:

$$\text{Erro} = \frac{|7,980 - 8,7844|}{7,980} \times 100 = 10,08\% \quad (5.2)$$

Da simulação do modelo representativo do balanceamento de linhas 02 retira-se que, com os 8 colaboradores existentes organizados de acordo com o esquema da Figura 5.11, não seria possível produzir as 14 guardas metálicas num turno de 8h ao contrário do previsto no modelo analítico.

Desta forma conclui-se que a hipótese B não reúne condições para ser dada como válida, sendo que em engenharia não é aceitável um erro superior a 10%.

5.3.4 Relatório Final – Simulação BL02

O relatório final da simulação do cenário balanceado 02 compilou o número de utilizações e a taxa de ocupação dos recursos utilizados no processo.

Após análise do relatório de simulação, *Tabela 5.6*, é possível perceber que esta organização de trabalhos sobrecarrega o OPERÁRIO 01 visto que é registada uma ocupação de 100% deste recurso durante o processo, sendo mais uma vez indicativo que, o ritmo do OPERÁRIO 01 determina o ritmo do processo produtivo.

Por outro lado, é possível perceber que existe uma folga considerável na ocupação do OPERÁRIO 02, sendo que seria apropriado estudar uma nova redistribuição da sua carga de trabalho.

Tabela 5.6 - Relatório de simulação - Cenário Real vs. Cenário Balanceado 02. 6 Guardas.

	CENÁRIO REAL - SIMULAÇÃO 6 GUARDAS 8 COLABORADORES		CENÁRIO BALANCEADO 02 - SIMULAÇÃO 6 GUARDAS 8 COLABORADORES		DIF	
Periodo de Warm Up	8,68	h	7,16	h	-1,52	h
Duração do Processo	8,89	h	4,49	h	-4,40	h
PONTE ROLANTE.NumberSeized	6	un	6	un	0	un
PONTE ROLANTE.ScheduledUtilization	0,68%		1,34%		0,66%	
EQPMT DE PINT.NumberSeized	16	un	16	un	0	un
EQPMT DE PINT.ScheduledUtilization	37,49%		74,22%		36,73%	
OPERARIO 01.NumberSeized	75	un	44	un	-31	un
OPERARIO 01.ScheduledUtilization	44,99%		100,00%		55,01%	
OPERARIO 02.NumberSeized	330	un	15	un	-315	un
OPERARIO 02.ScheduledUtilization	27,84%		32,95%		5,12%	
OPERARIO 03.NumberSeized	1615	un	231	un	-1384	un
OPERARIO 03.ScheduledUtilization	91,66%		99,33%		7,66%	
OPERARIO 04.NumberSeized	365	un	417	un	52	un
OPERARIO 04.ScheduledUtilization	49,00%		71,82%		22,81%	
OPERARIO 05.NumberSeized	11	un	120	un	109	un
OPERARIO 05.ScheduledUtilization	45,36%		79,99%		34,62%	
OPERARIO 06.NumberSeized	6	un	120	un	114	un
OPERARIO 06.ScheduledUtilization	82,48%		88,27%		5,79%	
OPERARIO 07.NumberSeized	23	un	15	un	-8	un
OPERARIO 07.ScheduledUtilization	48,66%		64,49%		15,83%	
OPERARIO 08.NumberSeized	16	un	16	un	0	un
OPERARIO 08.ScheduledUtilization	37,49%		74,89%		37,39%	
MAQ DE PUNCIÓNAR.NumberSeized	365	un	345	un	-20	un
MAQ DE PUNCIÓNAR.ScheduledUtilization	36,98%		25,07%		-11,90%	
EQPMT DE METAL.NumberSeized	8	un	8	un	0	un
EQPMT DE METAL.ScheduledUtilization	19,08%		37,78%		18,69%	
EMPILHADOR.NumberSeized	12	un	12	un	0	un
EMPILHADOR.ScheduledUtilization	1,80%		3,56%		1,76%	
MAQ SOLD 01.NumberSeized	11	un	11	un	0	un
MAQ SOLD 01.ScheduledUtilization	45,36%		55,81%		10,45%	
MAQ SOLD 02A.NumberSeized	6	un	6	un	0	un
MAQ SOLD 02A.ScheduledUtilization	82,48%		54,91%		-27,57%	
MAQ SOLD 02B.NumberSeized			6	un		un
MAQ SOLD 02B.ScheduledUtilization			54,91%			
MAQ SOLD 02C.NumberSeized			6	un		un
MAQ SOLD 02C.ScheduledUtilization			54,91%			
ZONA DE ARRUMACAO 01.NumberSeized	9	un	9	un	0	un
ZONA DE ARRUMACAO 01.ScheduledUtilization	1,38%		2,73%		1,35%	
ZONA DE ARRUMACAO 02.NumberSeized	11	un	11	un	0	un
ZONA DE ARRUMACAO 02.ScheduledUtilization	1,68%		3,33%		1,65%	
SERROTE DE FITA 01.NumberSeized	69	un	58	un	-11	un
SERROTE DE FITA 01.ScheduledUtilization	41,39%		45,09%		3,70%	
SERROTE DE FITA 02.NumberSeized	6	un	6	un	0	un
SERROTE DE FITA 02.ScheduledUtilization	3,60%		7,13%		3,53%	
ENG DE FURAR 01.NumberSeized	365	un	345	un	-20	un
ENG DE FURAR 01.ScheduledUtilization	49,00%		33,36%		-15,64%	
MARTELO E TORNO 01.NumberSeized	110	un	92	un	-18	un
MARTELO E TORNO 01.ScheduledUtilization	8,45%		5,06%		-3,39%	
SERROTE DE DISCO 01.NumberSeized	330	un	298	un	-32	un
SERROTE DE DISCO 01.ScheduledUtilization	27,84%		37,06%		9,23%	
LIMA 01.NumberSeized	453	un	421	un	-32	un
LIMA 01.ScheduledUtilization	27,23%		0,16835		-10,39%	
EQPMT DE DECAP A.NumberSeized	9	un	9	un	0,00%	un
EQPMT DE DECAP A.ScheduledUtilization	28,46%		0,62262		33,81%	
EQPMT DE DECAP B.NumberSeized		un	9	un		un
EQPMT DE DECAP B.ScheduledUtilization			62,26%			
System.NumberOut	200	un	168	un	-32	un

Quanto à comparação de cenários conclui-se que o cenário balanceado 02 demonstra ganhos de eficiência produtiva significativos, conseguindo atingir a mesma meta produtiva que o cenário real em sensivelmente metade do tempo. Um reflexo dessa melhoria é também o aumento da percentagem de ocupação média dos operários que passou de 53,44% para 76,47%.

5.4 SIMULAÇÕES - EXERCÍCIO COMPARATIVO

Depois dos ensaios de validação e comparação, executaram-se ainda simulações nos modelos que incidem sobre os 3 cenários estudados, real, balanceado 01 e balanceado 02. Para efeitos comparativos em cada cenário foram simuladas 3 variantes. A primeira variante com as restrições e funcionamento compassado que aproxima o modelo de simulação do modelo analítico, sendo um modelo estático. A segunda variante que, tal como a primeira opera com tempos constantes, mas, ao contrário desta, não tem as restrições impostas por módulos *HOLD* e tem um funcionamento fluido e independente. A terceira variante, representada nas duas últimas colunas da *Tabela 5.7*, da *Tabela 5.8* e da *Tabela 5.9*, correspondem ao modelo fluido e estocástico, cujas operações seguem distribuições triangulares (*Figura 5.15*). Esta última aparece representada em duas replicações ilustrativas de dois resultados possíveis.

The image shows a 'Process' configuration dialog box. It has a title bar with a question mark and a close button. The 'Name' field is 'SETUP CORTE VA' and the 'Type' is 'Standard'. Under 'Logic', the 'Action' is 'Seize Delay Release' and the 'Priority' is 'High(1)'. The 'Resources' list contains 'Resource, SERROTE DE DISCO 01, 1' and 'Resource, OPERARIO 01, 1'. The 'Delay Type' is 'Triangular', 'Units' are 'Seconds', and 'Allocation' is 'Value Added'. The 'Minimum' is '.5*20', 'Value (Most Likely)' is '20', and 'Maximum' is '1.5*20'. The 'Report Statistics' checkbox is checked. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

Figura 5.15 - Exemplo de configuração de módulo com distribuição triangular.

Tabela 5.7 - Relatório comparativo de cenários simulados. Cenário Real.

	CENÁRIO REAL - SIMULAÇÃO 6 GUARDAS		CENÁRIO REAL - FLUXO CONTINUO 6 GUARDAS		CENÁRIO REAL - FLUXO CONTINUO C/ DIST TRIANG REPLICAÇÃO 1 6 GUARDAS		CENÁRIO REAL - FLUXO CONTINUO C/ DIST TRIANG REPLICAÇÃO 2 6 GUARDAS	
Período de Warm Up	8,68	h	8,68	h	8,68	h	8,68	h
Duração do Processo	8,89	h	8,12	h	8,69	h	8,18	h
PONTE ROLANTE.NumberSeized	6	un	6	un	6	un	7	un
PONTE ROLANTE.ScheduledUtilization	0,68%		0,74%		0,00624		0,00776	
EQPMT DE PINT.NumberSeized	16	un	17	un	18	un	17	un
EQPMT DE PINT.ScheduledUtilization	37,49%		41,05%		0,41649		0,38567	
OPERARIO 01.NumberSeized	75	un	75	un	75	un	75	un
OPERARIO 01.ScheduledUtilization	44,99%		49,26%		0,47429		0,48438	
OPERARIO 02.NumberSeized	330	un	330	un	330	un	330	un
OPERARIO 02.ScheduledUtilization	27,84%		30,48%		0,28179		0,29781	
OPERARIO 03.NumberSeized	1615	un	1601	un	1615	un	1601	un
OPERARIO 03.ScheduledUtilization	91,66%		99,11%		0,93318		0,99176	
OPERARIO 04.NumberSeized	365	un	357	un	365	un	357	un
OPERARIO 04.ScheduledUtilization	49,00%		52,43%		0,50494		0,51964	
OPERARIO 05.NumberSeized	11	un	11	un	11	un	11	un
OPERARIO 05.ScheduledUtilization	45,36%		49,67%		0,4986		0,47733	
OPERARIO 06.NumberSeized	6	un	6	un	6	un	6	un
OPERARIO 06.ScheduledUtilization	82,48%		90,31%		0,91895		0,96453	
OPERARIO 07.NumberSeized	23	un	30	un	31	un	30	un
OPERARIO 07.ScheduledUtilization	48,66%		65,35%		0,63143		0,68485	
OPERARIO 08.NumberSeized	16	un	17	un	18	un	17	un
OPERARIO 08.ScheduledUtilization	37,49%		41,05%		0,41649		0,38567	
MAQ DE PUNCONAR.NumberSeized	365	un	358	un	365	un	358	un
MAQ DE PUNCONAR.ScheduledUtilization	36,98%		39,67%		0,37962		0,39652	
OPERARIO 09.NumberSeized	12	un	16	un	15	un	17	un
OPERARIO 09.ScheduledUtilization	1,80%		2,79%		0,02697		0,03126	
EQPMT DE METAL.NumberSeized	8	un	9	un	10	un	9	un
EQPMT DE METAL.ScheduledUtilization	19,08%		24,34%		0,22748		0,24309	
EMPILHADOR.NumberSeized	12	un	16	un	15	un	17	un
EMPILHADOR.ScheduledUtilization	1,80%		2,79%		0,02697		0,03126	
MAQ SOLD 01.NumberSeized	11	un	11	un	11	un	11	un
MAQ SOLD 01.ScheduledUtilization	45,36%		49,67%		0,4986		0,47733	
MAQ SOLD 02.NumberSeized	6	un	6	un	6	un	6	un
MAQ SOLD 02.ScheduledUtilization	82,48%		90,31%		0,91895		0,96453	
ZONA DE ARRUMACAO 01.NumberSeized	9	un	9	un	9	un	9	un
ZONA DE ARRUMACAO 01.ScheduledUtilization	1,38%		1,51%	%	0,01319	%	0,01415	%
ZONA DE ARRUMACAO 02.NumberSeized	11	un	11		11		11	
ZONA DE ARRUMACAO 02.ScheduledUtilization	1,68%		1,84%		0,01621		0,0186	
SERROTE DE FITA 01.NumberSeized	69	un	69	un	69	un	69	un
SERROTE DE FITA 01.ScheduledUtilization	41,39%		45,32%		0,43701		0,44872	
SERROTE DE FITA 02.NumberSeized	6	un	6	un	6	un	6	un
SERROTE DE FITA 02.ScheduledUtilization	3,60%		3,94%		0,03728		0,03566	
ENG DE FURAR 01.NumberSeized	365	un	357	un	365	un	357	un
ENG DE FURAR 01.ScheduledUtilization	49,00%		52,43%		0,50494		0,51964	
MARTELO E TORNO 01.NumberSeized	110	un	108	un	102	un	101	un
MARTELO E TORNO 01.ScheduledUtilization	8,45%		9,11%		0,07861		0,0859	
SERROTE DE DISCO 01.NumberSeized	330	un	330	un	330	un	330	un
SERROTE DE DISCO 01.ScheduledUtilization	27,84%		30,48%		0,28179		0,29781	
EQPMT DE DECAP.NumberSeized	9	un	11	un	12	un	11	un
EQPMT DE DECAP.ScheduledUtilization	28,46%		38,96%		0,38322		0,41826	
LIMA 01.NumberSeized	453	un	448	un	457	un	456	un
LIMA 01.ScheduledUtilization	27,23%		29,50%		0,27502		0,30108	
System.NumberOut	200	un	200	un	200	un	200	un

Tabela 5.8 - Relatório comparativo de cenários simulados. Cenário Balanceado 01.

	CENÁRIO BALANCEADO 01 - SIMULAÇÃO 6 GUARDAS		CENÁRIO BALANCEADO 01 - SIMULAÇÃO EM FLUXO CONTINUO 6 GUARDAS		CENÁRIO BALANCEADO 01 - SIMULAÇÃO EM FLUXO CONTINUO C/ DIST TRIANGULAR REPLICAÇÃO 1 6 GUARDAS		CENÁRIO BALANCEADO 01 - SIMULAÇÃO EM FLUXO CONTINUO C/ DIST TRIANGULAR REPLICAÇÃO 2 6 GUARDAS	
Periodo de Warm Up	14,72	h	14,72	h	14,72	h	14,72	h
Duração do Processo	8,56	h	7,70	h	7,59	h	7,68	h
PONTE ROLANTE.NumberSeized	6	un	6	un	6	un	6	un
PONTE ROLANTE.ScheduledUtilization	0,69%		0,78%		0,64%		0,74%	
EQPMT DE PINT.NumberSeized	16	un	17	un	16	un	17	un
EQPMT DE PINT.ScheduledUtilization	38,43%		43,28%		43,95%		43,77%	
OPERARIO 01.NumberSeized	1047	un	1031	un	1015	un	1034	un
OPERARIO 01.ScheduledUtilization	100,00%		100,00%		100,00%		100,00%	
OPERARIO 02.NumberSeized	12	un	14	un	13	un	14	un
OPERARIO 02.ScheduledUtilization	42,65%		52,93%		49,57%		54,23%	
OPERARIO 03.NumberSeized	6	un	6	un	6	un	6	un
OPERARIO 03.ScheduledUtilization	84,55%		95,21%		83,45%		90,72%	
OPERARIO 04.NumberSeized	24	un	26	un	24	un	27	un
OPERARIO 04.ScheduledUtilization	57,99%		68,94%		66,10%		76,82%	
MAQ DE PUNCIÓNAR.NumberSeized	100	un	100	un	94	un	102	un
MAQ DE PUNCIÓNAR.ScheduledUtilization	11,59%		0,13055		0,1228		0,13462	
EQPMT DE METAL.NumberSeized	8	un	9	un	8	un	10	un
EQPMT DE METAL.ScheduledUtilization	19,56%		0,25663		0,22142		0,33048	
EMPILHADOR.NumberSeized	12	un	16	un	15	un	11	un
EMPILHADOR.ScheduledUtilization	1,85%		0,02943		0,02807		0,0195	
MAQ SOLD 01.NumberSeized	11	un	11	un	3	un	3	un
MAQ SOLD 01.ScheduledUtilization	46,91%		0,5126		0,17644		0,13634	
MAQ SOLD 02.NumberSeized	6	un	6	un	6	un	6	un
MAQ SOLD 02.ScheduledUtilization	84,55%		95,21%		83,45%		90,72%	
ZONA DE ARRUMACAO 01.NumberSeized	9	un	9	un	9	un	9	un
ZONA DE ARRUMACAO 01.ScheduledUtilization	1,41%		0,0159		0,01753		0,01452	
ZONA DE ARRUMACAO 02.NumberSeized	11	un	11	un	11	un	11	un
ZONA DE ARRUMACAO 02.ScheduledUtilization	1,73%		1,94%		1,77%		2,00%	
SERROTE DE FITA 01.NumberSeized	35	un	15	un	16	un	15	un
SERROTE DE FITA 01.ScheduledUtilization	21,17%		10,37%		10,90%		10,41%	
SERROTE DE FITA 02.NumberSeized	6	un	6	un	6	un	6	un
SERROTE DE FITA 02.ScheduledUtilization	3,69%		4,16%		4,49%		4,21%	
ENG DE FURAR 01.NumberSeized	100	un	100	un	95	un	103	un
ENG DE FURAR 01.ScheduledUtilization	15,44%		17,38%		17,34%		17,76%	
MARTELO E TORNO 01.NumberSeized	17	un	17	un	22	un	21	un
MARTELO E TORNO 01.ScheduledUtilization	1,44%		1,62%		1,93%		1,96%	
SERROTE DE DISCO 01.NumberSeized	330	un	330	un	330	un	330	un
SERROTE DE DISCO 01.ScheduledUtilization	28,53%		32,13%		32,23%		31,90%	
EQPMT DE DECAP.NumberSeized	9	un	11	un	10	un	11	un
EQPMT DE DECAP.ScheduledUtilization	29,17%		37,75%		31,93%		40,60%	
LIMA 01.NumberSeized	83	un	83	un	74	un	82	un
LIMA 01.ScheduledUtilization	5,18%		5,83%		5,31%		5,89%	
System.NumberOut	165	un	145	un	146	un	142	un

Tabela 5.9 - Relatório comparativo de cenários simulados. Cenário Balanceado 02.

	CENÁRIO BALANCEADO 02 - SIMULAÇÃO 6 GUARDAS	CENÁRIO BALANCEADO 02 - SIMULAÇÃO EM FLUXO CONTINUO 6 GUARDAS	CENÁRIO BALANCEADO 02 - SIMULAÇÃO EM FLUXO CONTINUO C/ DIST TRIANGULAR REPLICAÇÃO 1 6 GUARDAS	CENÁRIO BALANCEADO 02 - SIMULAÇÃO EM FLUXO CONTINUO C/ DIST TRIANGULAR REPLICAÇÃO 2 6 GUARDAS
Período de Warm Up	7,16 h	7,16 h	7,16 h	7,16 h
Duração do Processo	4,49 h	4,14 h	3,93 h	6,25 h
PONTE ROLANTE.NumberSeized	6 un	6 un	6 un	6 un
PONTE ROLANTE.ScheduledUtilization	1,34%	1,45%	0,01494	0,01125
EQPMT DE PINT.NumberSeized	16 un	14 un	14 un	19 un
EQPMT DE PINT.ScheduledUtilization	74,22%	79,81%	0,89155	0,71425
OPERARIO 01.NumberSeized	44 un	37 un	32 un	73 un
OPERARIO 01.ScheduledUtilization	100,00%	100,00%	1	1
OPERARIO 02.NumberSeized	15 un	17 un	14 un	21 un
OPERARIO 02.ScheduledUtilization	32,95%	52,77%	0,29616	0,49816
OPERARIO 03.NumberSeized	231 un	156 un	63 un	339 un
OPERARIO 03.ScheduledUtilization	99,33%	100,00%	1	0,94473
OPERARIO 04.NumberSeized	417 un	433 un	302 un	952 un
OPERARIO 04.ScheduledUtilization	71,82%	78,03%	0,74425	0,81968
OPERARIO 05.NumberSeized	120 un	71 un	95 un	257 un
OPERARIO 05.ScheduledUtilization	79,99%	78,17%	0,85877	0,8056
OPERARIO 06.NumberSeized	120 un	71 un	95 un	257 un
OPERARIO 06.ScheduledUtilization	88,27%	83,87%	0,93182	0,92131
OPERARIO 07.NumberSeized	15 un	14 un	14 un	14 un
OPERARIO 07.ScheduledUtilization	64,49%	75,39%	0,91915	0,56295
OPERARIO 08.NumberSeized	16 un	14 un	15 un	20 un
OPERARIO 08.ScheduledUtilization	74,89%	87,04%	0,96584	0,90016
MAQ DE PUNCIÓNAR.NumberSeized	114 un	65 un	89 un	251 un
MAQ DE PUNCIÓNAR.ScheduledUtilization	25,07%	17,00%	0,2351	0,37187
EQPMT DE METAL.NumberSeized	8	8 un	9 un	10 un
EQPMT DE METAL.ScheduledUtilization	0	0	0,53712	0,43983
EMPILHADOR.NumberSeized	12 un	11 un	11 un	11 un
EMPILHADOR.ScheduledUtilization	3,56%	3,46%	0,03855	0,02167
MAQ SOLD 01.NumberSeized	11 un	11 un	2 un	9 un
MAQ SOLD 01.ScheduledUtilization	55,81%	79,40%	0,21235	0,432
ZONA DE ARRUMACAO 01.NumberSeized	9 un	9 un	9 un	9 un
ZONA DE ARRUMACAO 01.ScheduledUtilization	2,73%	2,96%	0,03296	0,02123
ZONA DE ARRUMACAO 02.NumberSeized	11 un	11 un	11 un	11 un
ZONA DE ARRUMACAO 02.ScheduledUtilization	3,33%	3,62%	0,0383	0,02405
SERROTE DE FITA 01.NumberSeized	38 un	31 un	26 un	67 un
SERROTE DE FITA 01.ScheduledUtilization	45,09%	38,83%	0,37633	0,56627
SERROTE DE FITA 02.NumberSeized	6 un	6 un	6 un	6 un
SERROTE DE FITA 02.ScheduledUtilization	7,13%	7,73%	0,06887	0,05492
ENG DE FURAR 01.NumberSeized	114 un	65 un	89 un	251 un
ENG DE FURAR 01.ScheduledUtilization	33,36%	22,70%	0,30815	0,48758
MAQ SOLD 02A.NumberSeized	6 un	6 un	6 un	6 un
MAQ SOLD 02A.ScheduledUtilization	54,91%	61,17%	0,62367	0,43373
MAQ SOLD 02B.NumberSeized	6 un	6 un	6 un	6 un
MAQ SOLD 02B.ScheduledUtilization	54,91%	61,17%	0,62367	0,43373
MAQ SOLD 02C.NumberSeized	6 un	6 un	6 un	6 un
MAQ SOLD 02C.ScheduledUtilization	54,91%	61,17%	0,62367	0,43373
MARTELO E TORNO 01.NumberSeized	31 un	28 un	24 un	62 un
MARTELO E TORNO 01.ScheduledUtilization	5,06%	4,84%	0,03667	0,06785
SERROTE DE DISCO 01.NumberSeized	222 un	147 un	54 un	330 un
SERROTE DE DISCO 01.ScheduledUtilization	37,06%	26,62%	0,10446	0,3922
LIMA 01.NumberSeized	139 un	129 un	96 un	315 un
LIMA 01.ScheduledUtilization	16,84%	16,66%	0,1249	0,25737
EQPMT DE DECAP A.NumberSeized	9 un	9 un	9 un	9 un
EQPMT DE DECAP A.ScheduledUtilization	62,26%	73,38%	0,89554	0,55253
EQPMT DE DECAP B.NumberSeized	9 un	9 un	9 un	9 un
EQPMT DE DECAP B.ScheduledUtilization	62,26%	73,38%	0,89554	0,55253
System.NumberOut	168 un	152 un	147 un	188 un

6 EXERCÍCIOS TEÓRICOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1 KANBAN

Depois de definida e distribuída a mão de obra disponível pelo processo produtivo, no segundo cenário de balanceamento de linha, surge a necessidade de definir as quantidades a produzir e os timings de produção. Julga-se que a gestão, controlo e visualização do fluxo de trabalho, permitida pela implementação do sistema *kanban*, seja uma estratégia útil e com potencial de resolução dos problemas identificados.

Pretende-se com a implementação deste método de gestão produtiva, transitar de um modelo em que as estações de trabalho ditam a sua cadência produtiva, para um modelo em que a cadência produtiva é motivada pela necessidade desses mesmos produtos em estações a jusante. Num panorama mais afastado acabaria por se verificar que a produção seria motivada pelas exigências do cliente, sendo este o elemento que define as quantidades e timings de entrega, que se traduzirão nas quantidades e timings de produção descrevendo-se assim um sistema de produção puxado, *pull*, *Figura 6.1*.

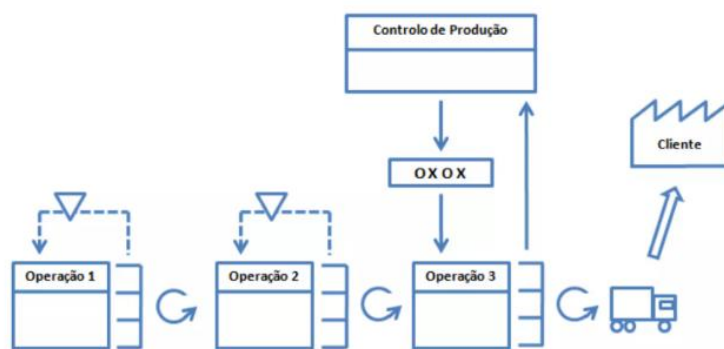


Figura 6.1 - Esquema elucidativo das relações entre operações de um sistema pull.

Considera-se que implementando o método *kanban* e os seus princípios, existe o potencial de criar no sistema produtivo um fluxo de interdependências organizado que mitigará os modos de falha verificados.

Uma vez que uma das práticas fundamentais da aplicação do método *kanban* é a implementação de “*feedback loops*” em toda a cadeia produtiva, julga-se que a abordagem a seguir passa pela instalação de sistemas *kanban* entre estações de trabalho dependentes.

Neste cenário cada estação de trabalho partilharia um sistema *kanban* com as estações da qual depende, este sistema seria composto por quadros de nivelamento de produção (*kanban board*), cartões *kanbans* (kanban card), contentores e carros de transporte.

De maneira a concretizar esta estratégia é fundamental definir as especificações de cada sistema simbiótico tais como a área necessária de implementação do sistema, a sua localização, bem como a sua forma e capacidade. O dimensionamento das especificações de cada sistema *kanban* influencia diretamente fatores como a fluidez do processo e o consumo de recursos para o concretizar.

6.1.1 Localização

Quanto à localização, como referido anteriormente, os postos *kanban* devem ser implementados de maneira a definir uma rota de transações entre estações de trabalho dependentes.

Seguindo uma sequência alfabética de identificação dos sistemas *kanban* a implantar, realizou-se um esquema que apresenta a distribuição dos referidos sistemas pelo chão de fábrica dos pavilhões que acolhem as operações de produção, *Figura 6.2*.



Figura 6.2 - Localização dos sistemas *kanban* a implementar.

A atribuição da localização aos sistemas *kanban* iniciou-se pelo interveniente que despoleta a procura e, por sua vez o impulso de produção, o cliente. O fluxo termina no sistema kanban M que rege as transações de matéria-prima entre a Zona de Armazenamento e a Zona de Corte.

6.1.2 Forma

Os elementos de maior destaque de um sistema kanban são os quadros de nivelamento de produção (*kanban board*), *Figura 6.3*.



Figura 6.3 – Imagem ilustrativa de um quadro de nivelamento de produção. Fonte: <https://tryfl.de/Einstecktafel-nach-Kanban-Prinzip>

Este elemento visual representa na maioria dos casos um plano diário de produção. Para concretizar o nivelamento da produção, os kanbans são inseridos dentro da respetiva caixa na ranhura de acordo com o modelo e a hora a que se pretende que estejam disponíveis. Esta ferramenta de gestão visual permite perceber qual o stock de cada produto em qualquer instante, possibilitando a aferição do ritmo de produção e a posterior atuação caso esta se encontre atrasada ou adiantada. Para o gestor da produção, os quadros de nivelamento de produção permitem ainda implementar ajustes no fluxo produtivo, antecipar e programar pedidos de fornecimento e ainda investigar perdas e falhas no processo.

Os kanbans, mais especificamente os kanbans de produção, são usualmente cartões ou caixas que autorizam a produção de uma determinada quantidade de um item. Estes elementos circulam entre o setor fornecedor e o setor fornecido, acompanhando o produto até ao consumidor sendo de seguida devolvido ao fornecedor para autorizar a produção e reposição dos itens consumidos. Cada setor produtivo possui um número fixo de cartões determinado pelas necessidades do processo e do cliente.

A etiqueta kanban compila a informação necessária para a correta identificação dos contentores circulantes. A *Figura 6.4* descreve o aspeto e composição de uma etiqueta kanban.

Diagrama de uma etiqueta Kanban. A etiqueta é retangular com um círculo no topo central. O texto na etiqueta é o seguinte:

KANBAN

ITEM: _____

PART NO: _____

QTY: _____

LOCATION: _____

SUPPLIER: _____

RETURN KANBAN
CARD TO:

Figura 6.4 – Imagem ilustrativa de uma etiqueta kanban. Fonte: <https://www.emedco.com/kanban-cards-dt915.html>

Adotando esta ferramenta de gestão, a transação de elementos em processamento entre estações de trabalho seria assegurada por trolleys móveis compartimentados, como o mostrado na *Figura 6.5*.



Figura 6.5 – Trolley de movimentação de artigos.

Fonte: https://www.google.com/search?q=industrial%20metal%20hand%20trolley%20shelves&tbn=isch&tbs=rimq:CVyUba2_1QZI5YTcROoWy7ZQpsqIVCgIIABAAOgQIABABQAFIAVUoCX0_1wAIA2AIA4AIA&hl=pt-PT&sa=X&ved=0CBwQullBahcKEwioktLp9buCAxUAAAAAHQAAAAAQc&biw=1457&bih=787#imgrc

6.1.3 Dimensionamento – Nº de contentores e capacidade

As etiquetas de Kanban estão associadas a contentores de peças que circulam entre estações de trabalho. A forma e dimensão destes contentores é variada, estando estes fatores dependentes dos elementos a acolher. Um exemplo do formato característico de um contentor de um sistema de kanban comum apresenta-se na *Figura 6.6*.



Figura 6.6 – Imagem ilustrativa de um contentor de sistema kanban. Fonte: https://www.ottoroth.de/en/business-units/c-parts-management/packaging-and-more/kanban_containers.php

Cada tipologia de peça produzida no processo terá a si associada uma procura por parte dos processos a jusante. Essa procura juntamente com o tempo de ciclo imposto pela estratégia de produção implementada influenciam diretamente o número de kanbans de cada referência a produzir.

O número de Kanbans de uma dada referência de peça, que circula entre cada dois postos de trabalho, é fixo e previamente calculado por:

$$N_c = \frac{De \times T_c \times (1 + \alpha)}{C_c} \quad (6.1)$$

N_c = Nº de Contentores

De = Taxa de Procura

C_c = Capacidade do contentor

T_c = Tempo de Ciclo

α = Stock de Segurança

Sistema de Kanban A – Cliente & Transporte

Iniciou-se o processo de implementação da metodologia *kanban* partindo da condição base do sistema produtivo “puxado”, “o cliente é quem comanda a produção”. Tendo como exigência produtiva a concretização de 14 guardas metálicas diária, transmitiu-se essa condição para a última estação de trabalho, encarregue do fornecimento e transporte das guardas.

Sendo imperativo o fornecimento da quantidade diária exigida ao cliente, é necessário que as guardas sejam antes carregadas e transportadas até ao destino.

Tabela 6.1 – Exigência diária ao Sistema de Kanban A.

Descrição do Elemento	Dimensões [mm]	Exigência Diária
Guarda Finalizada	[3100x1000x70]	14 un.

Com o objetivo de determinar a quantidade de kanbans a atribuir ao posto de Carregamento e Transporte foi utilizada a equação (24) e procedeu-se à determinação das variáveis em falta. O produto pronto a transportar é carregado em cavaletes com a capacidade de armazenamento de 14 guardas metálicas, coincidindo com o valor de exigência produtiva diária. O período a contabilizar no cálculo corresponde às 8 horas diárias de operação. O stock de segurança atribuído e foi o de uma guarda metálica extra correspondendo à percentagem de 7,14%.

Tabela 6.2 – Quadro resumo das variáveis a trabalhar no cálculo da capacidade do Sistema de Kanban A.

Variável	Passo Intermédio	Valor
D	14 un./8h	1,75 un./h
T	480 min	8 h
α	1/14	0,0714
C	14 un.	14 un.

Substituindo os valores determinados na equação (6.1) temos que:

$$N_c = \frac{1,75 \times 8 \times (1 + 0,0714)}{14} = 1,0714 \rightarrow 2 \text{ Contentores} \quad (6.1)$$

Conclui-se do cálculo realizado que a estação de Carregamento e Transporte necessita de 2 kanbans, correspondentes a 2 contentores com a capacidade de 14 unidades. Este posto envolve operações sobre um único produto a guarda finalizada, por isso o quadro de nivelamento desta estação terá apenas uma referência kanban a “Transporte 01”.

Tabela 6.3 – Quadro resumo das referências da Estação Kanban A.

Estação Kanban	Etiqueta (Referência Kanban)	Quantidade de Contentores	Capacidade do Contentor
A	Transporte 01	2	14 un.

Replicou-se o procedimento acima descrito para as restantes 12 estações, concluindo assim o dimensionamento do sistema Kanban proposto.

6.2 ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRA

Todas as propostas sugeridas têm o propósito de melhorar os processos e melhorar o sistema produtivo. A sua finalidade reside no aumento da produtividade, bem como dos ganhos financeiros e da qualidade de execução. Em contrapartida não pode ser esquecido que estas propostas têm a si associados custos de implementação. Com o objetivo de apurar qual a viabilidade dos investimentos propostos realizou-se um estudo de viabilidade económica e financeira (EVEF).

Neste estudo de viabilidade económica e financeira analisaram-se as hipóteses D, E e F. Em cada estudo foi comparado o cenário atual que não sofre quaisquer alterações, com o cenário sugerido que envolve um investimento, analisando as repercussões que este acarreta.

Os estudos efetuados baseiam-se na atividade produtiva anual da empresa, tendo sido considerados os períodos de atividade listados na *Tabela 6.4*.

Tabela 6.4 - Informações gerais de operação da empresa.

Informações Gerais de Operação da Empresa		
Operação diária	8	h/dia
Operação mensal	22	dias/mês
	176	h/mês
Operação anual	12	meses/ano
	264	dias/ano
	2 112	h/ano

6.2.1 EVEF X

De um ponto de vista geral, as hipóteses D e E propõem-se a resolver a mesma situação problemática, a movimentação lenta de artigos em processamento no pavilhão 4. As hipóteses em causa confrontam o cenário atual com os cenários propostos de implementação de equipamentos no processo.

O cenário atual assume que a movimentação dos artigos é feita de forma manual, por dois colaboradores permanentemente. Os dados relevantes da operação em causa são:

- 2 - Colaboradores necessários para a concretização das operações;
- 280 - Viagens diárias (140 com carga, 140 sem carga);
- 1h21 - Duração total das movimentações diárias no pavilhão 4;
- 50 kg - Massa de uma guarda metálica em processamento.

O primeiro cenário proposto assume que a movimentação dos artigos é feita com a ajuda da grua de coluna orientável Vetter PR e um trolley de transporte, envolvendo dois colaboradores parcialmente. Os dados relevantes da operação em causa são:

- 2 - Colaboradores necessários para a concretização das operações (1 parcial);
- 560 - Operações de guincho (280 elevações + 280 descidas);
- 1 - Trolley de transporte móvel (capacidade 4 guardas);
- 4m/min - Velocidade de operação do guincho;
- 60s - Duração da operação de recolha e acondicionamento de uma guarda;
- Possibilidade de transportar 4 guardas de cada vez;
- 23,33 minutos de duração total estimada de movimentações diárias no pavilhão 4 ;
- Preço de fornecimento de 15 000 a 20 000€;
- Preço de instalação de 2 000 a 3 000€;
- Preço do trolley de 1 500 €.

O segundo cenário a ser estudado é a possibilidade de instalação de uma ponte rolante. Esta proposta, tal como a anterior, visa mitigar o modo de falha relativo às perdas de produtividade associadas à movimentação lenta de itens em processamento no pavilhão 4.

O cenário proposto neste estudo assume que a movimentação dos artigos é feita com a ajuda da ponte rolante KoneCranes, envolvendo um colaborador no processo. Os dados relevantes da operação em causa são:

- 1 Colaborador necessário para a concretização das operações;
- 560 - Operações de guincho (280 elevações + 280 descidas);
- 16m/min - Velocidade de operação do guincho;
- 32m/min - Velocidade da ponte;
- 80s - Duração da operação de recolha e acondicionamento de uma guarda;
- Possibilidade de transportar 5 guardas de cada vez (c/balancim);
- 20 minutos - Duração total estimada de movimentações diárias no pavilhão 4;
- Custo de fornecimento de 40 000 a 50 000 €;
- Preço de instalação de 5 000 a 10 000 €.

Cenário Atual

De maneira a concretizar o estudo de viabilidade económica e financeira realizou-se uma recolha e resumo das informações que o sustentam. Analisou-se primeiramente o cenário atual. Tendo em conta as informações recolhidas envolvendo as movimentações lentas no

pavilhão 4 e calcularam-se as durações da operação mensal e anual de movimentação de artigos em processamento.

Retira-se do estudo da situação atual que as operações de movimentação de cargas no pavilhão 4 se desdobram em 10 trajetos, descritos no Spaghetti diagram, Figura 4.11, sendo estes percorridos diariamente 14 vezes com e sem carga, perfazendo 280 viagens. Os trabalhos de movimentação são realizados por dois colaboradores. Os dados relativos às viagens e operações em causa aparecem descritos na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Duração das viagens no cenário real.(esquerda) Características da operação no cenário real. (direita).

Trajeto	Duração da viagem (s)		Características da Operação	
	Com carga	Sem carga		
	25	10	Nº de guardas transportadas por viagem	1
	15	6	Nº de guardas a transportar diariamente	14
	20	8	Nº de colaboradores necessários	2
	25	10	Nº de viagens com carga	14
	30	12	Nº de viagens sem carga	14
	30	12		
	35	14		
	40	16		
	10	4		

Após calculado o tempo diário despendido em movimentações e deslocações chegou-se à conclusão de que são consumidas cerca de 1 hora e 22 minutos, como indica a Tabela 6.6.

Tabela 6.6- Duração total das viagens diárias. Cenário Real.

Trajeto	Duração Diária (s)	
	Com carga	Sem carga
	350	140
	210	84
	280	112
	280	112
	350	140
	420	168
	420	168
	490	196
	560	224
	140	56
Duração Total das Viagens Diárias		
Seg	Min	Horas
4900	81,666667	1,361111

Dado que a movimentação de artigos constitui uma operação sem valor acrescentado e assumindo que a sua concretização substitui a realização de operações com valor acrescentado, a operação tem a si associada um custo de oportunidade perdida. Neste caso em particular são destacados 2 colaboradores estando estes impedidos de fazer 2 operações de valor acrescentado, sendo cada operação valorizada em 50€ horários. Tendo em conta a duração da operação de movimentação de artigos e o número de colaboradores envolvidos, é possível calcular o custo de oportunidade perdido diária e anualmente, como indicado na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 - Custo de oportunidade perdido em movimentação. Cenário Real.

Custo de Oportunidade Perdido em Movimentação (Colaborador + Colaborador Deslocado)		
Valor da hora de trabalho da Produção	50	€/h
Custo de Oportunidade Diário	136,11111	€/dia
Custo de Oportunidade Anual	35 933	€/ano

Depois de fundamentados o gasto das operações anuais de movimentação de artigos em processamento realizou-se a análise financeira.

O cenário real, que descreve o funcionamento atual das operações e não envolve investimentos nem receitas, foi estudado num período de 10 anos. Assumiu-se que os custos de operação se mantinham constantes durante o período estudado. A análise de investimento foi realizada considerando os custos atualizados ao ano zero a uma taxa de atualização de 6%. Calculou-se o valor atualizado líquido dos fluxos de caixa, com o modelo de Excel apresentado na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 - Estudo de Viabilidade Económica e Financeira 1 - Cenário Real.

Situação Atual											
Taxa	0,06										
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Custos anuais de Operação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Custos anuais de Oportunidade	0	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933
Custos anuais Totais	0	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933	35 933
Receitas Anuais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluxo de Caixa	0	-35 933	-35 933	-35 933	-35 933	-35 933	-35 933	-35 933	-35 933	-35 933	-35 933
Atualização das Receitas ao ano 0	0										
Atualização das Despesas ao ano 0	264 472										
Índice de Rendibilidade	0,000	VAL no ano 1	VAL no ano 2	VAL no ano 3	VAL no ano 4	VAL no ano 5	VAL no ano 6	VAL no ano 7	VAL no ano 8	VAL no ano 9	VAL no ano 10
VAL no período de estudo	-264 472	-33 899	-65 880	-96 050	-124 513	-151 364	-176 696	-200 594	-223 139	-244 407	-264 472

O resultado desta análise de investimento foi um **VAL de -264 472€** num período de operação de 10 anos.

Cenário – Grua de Coluna vs. Ponte Rolante

As hipóteses formuladas que visam melhorar os episódios de movimentação lenta no pavilhão 4 estudaram-se em conjunto de modo a facilitar a comparação de propostas.

Realizou-se uma recolha e resumo de informações de forma a sustentar o estudo de viabilidade económica e financeira.

O cenário do qual partem as duas hipóteses difere. Na primeira solução de movimentação propõe-se a utilização de uma grua de coluna orientável e um trolley, estes equipamentos permitem a realização das viagens exigidas nos tempos apresentados na Tabela 6.9, à esquerda. A segunda solução de movimentação propõe a utilização de uma ponte rolante, equipamento que permite a realização das mesmas viagens no tempos apresentados na Tabela 6.9, à direita.

Tabela 6.9 - Duração das viagens no cenário 1. (esquerda) Duração das viagens no cenário 2. (direita)

Trajeto	Duração da viagem (s)		Trajeto	Duração da viagem (s)	
	Com carga	Sem carga		Com carga	Sem carga
	25	10		20	20
	15	6		12	12
	20	8		16	16
	20	8		16	16
	25	10		20	20
	30	12		24	24
	30	12		24	24
	35	14		28	28
	40	16		32	32
	10	4		8	8

Apesar das exigências de operação serem as mesmas, as características das movimentações nos dois cenários diferem. Enquanto o trolley do primeiro cenário permite o transporte de apenas 4 guardas por viagem, a ponte rolante permite o transporte de 5. Quanto ao número de viagens, dada a capacidade superior da ponte rolante esta necessita de apenas 3 ciclos de transporte e da intervenção de um colaborador para realizar as tarefas exigidas. Já o primeiro cenário necessita de mais um ciclo de transporte e de um colaborador auxiliar para completar o serviço. Estas informações encontram-se elencadas na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 – Características da operação no cenário 1. (esquerda) Características da operação no cenário 2. (direita)

Características da Operação		Características da Operação	
Nº de guardas transportadas por viagem	4	Nº de guardas transportadas por viagem	5
Nº de guardas a transportar diariamente	14	Nº de guardas a transportar diariamente	14
Nº de colaboradores necessários	2	Nº de colaboradores necessários	1
Nº de viagens com carga	4	Nº de viagens com carga	3
Nº de viagens sem carga	4	Nº de viagens sem carga	3

Tendo em consideração os detalhes dos cenários descritos é possível calcular os tempos diários consumidos nas suas operações de movimentação. A duração das operações de movimentação de cargas diária no cenário 1 é de cerca de 23 minutos, enquanto no cenário 2 as mesmas tarefas demoram cerca de 20 minutos a serem executadas, Tabela 6.11.

Tabela 6.11– Duração total das viagens diárias no cenário 1. (esquerda) Duração total das viagens diárias no cenário 2. (direita)

Trajeto	Duração Diária (s)		Trajeto	Duração Diária (s)	
	Com carga	Sem carga		Com carga	Sem carga
	100	40		60	60
	60	24		36	36
	80	32		48	48
	80	32		48	48
	100	40		60	60
	120	48		72	72
	120	48		72	72
	140	56		84	84
	160	64		96	96
	40	16		24	24
Duração Total das Viagens Diárias			Duração Total das Viagens Diárias		
Seg	Min	Horas	Seg	Min	Horas
1400	23,333333	0,388889	1200	20	0,333333

A movimentação de artigos tem ainda uma componente associada à duração de operação dos equipamentos no carregamento e descarregamento dos mesmos. No caso da grua de coluna orientável são consumidos 22 minutos diariamente a içar e descer cargas. No caso das operações da ponte rolante são consumidos 8 minutos na execução das mesma tarefas.

Tabela 6.12 – Duração total das operações dos equipamentos. Cenário 1 (esquerda). Cenário 2 (direita).

Duração Total das Operações de Grua diárias			Duração Total das Operações diárias da Ponte Rolante		
Duração da movimentação de 1 guarda (Grua)	60	seg	Duração da operação de carregamento/descarregamento	80	seg
Duração da operação diária da Grua	840	seg	Duração das operações diárias de carregamento/descarregamento	480	seg
Duração da operação de descarregamento	120	seg	Duração Total das Operações diárias da Ponte Rolante	8	min
Duração da operação diária de descarregamento	480	seg			
Duração Total das Operações de Grua diárias	22	min			

De uma perspetiva geral a duração total de operações no cenário 1 é de cerca de 45 minutos enquanto no cenário 2 as mesmas operações duram 28 minutos. Sendo que o tempo consumido nas operações de movimentação não tem valor acrescentado, sempre que se realizam operações de movimentação existe um custo de oportunidade perdido associado. Valorizando a hora de produção em 50€/h e tendo em conta a duração das operações, conclui-se que o custo de oportunidade anual perdido em movimentações é de 9 973€ no caso do cenário 1 e 6 160€ no caso do cenário 2.

Tabela 6.13 – Custos de oportunidade anual. Cenário 1 (esquerda). Cenário 2 (direita).

Duração Total das Operações de Movimentação diárias			Duração Total das Operações de Movimentação diárias		
Seg	Min	Horas	Seg	Min	Horas
2 720	45,333333	0,755556	1 680	28	0,466667
Custo de Oportunidade Perdido em Movimentação			Custo de Oportunidade Perdido em Movimentação		
Valor da hora de trabalho da Produção	50	€/h	Valor da hora de trabalho da Produção	50	€/h
Custo de Oportunidade Diário	37,777778	€/dia	Custo de Oportunidade Diário	23,333333	€/dia
Custo de Oportunidade Anual	9 973	€/ano	Custo de Oportunidade Anual	6 160	€/ano

O primeiro possui um outro custo de oportunidade associado relacionado com a necessidade de ter um colaborador auxiliar nas operações. O facto de o colaborador auxiliar abandonar a sua tarefa com valor acrescentado para auxiliar uma tarefa sem valor acrescentado resulta num custo de oportunidade perdido de 2 860€ anuais.

Tabela 6.14 - Custo de oportunidade perdido em colaboradores deslocados

Custo de Oportunidade Perdido em Colaborador deslocado		
Período Anual (colaborador auxiliar)	57,2	h/ano
Custo horário da tarefa do colaborador deslocado	50	€/h
Custo Anual de mão de obra auxiliar	2 860	€/ano

Quanto aos custos de operação dos equipamentos, sobressai o consumo de electricidade da ponte rolante com um custo de operação quatro vezes superior ao da grua. Em termos de custo anual de operação estima-se um custo de 1 320€ para o cenário 1 e um custo de 5 280€ para o cenário 2.

Tabela 6.15 – Custos de operação dos equipamentos. Cenário 1 (esquerda). Cenário 2 (direita).

Custo de Operação da Grua			Custo de Operação da Grua		
Custo de Operação Diário	20	€/dia	Custo de Operação Diário	5	€/dia
Custo de Operação Anual	5 280	€/ano	Custo de Operação Anual	1 320	€/ano

O último fator considerado relacionou-se com os investimentos inerentes às propostas. Quer em custos de aquisição como de instalação dos equipamentos, os valores investidos no

cenário 2 são substancialmente superiores. O valor do investimento do cenário 1 perfaz os 24 500€, já o cenário 2 ronda os 45 000€.

Tabela 6.16 – Investimentos iniciais. Cenário 1 (esquerda). Cenário 2 (direita).

Investimentos			Investimentos		
Custo de Aquisição da Grua	20 000	€	Custo de Aquisição da Ponte Rolante	40 000	€
Custo de Instalação da Grua	3 000	€	Custo de Instalação da Ponte Rolante	5 000	€
Custo de Aquisição do Trolley	1 500	€			

Reunidas as informações e calculados os gastos de implementação das propostas realizou-se o estudo comparativo das mesmas.

O primeiro cenário, que descreve o fornecimento e instalação de uma grua de coluna orientável e um trolley de movimentação, foi estudado num período de 10 anos. Não foram considerados recebimentos associados e assumiu-se que os custos de operação e oportunidade se mantinham constantes durante o período estudado.

Tabela 6.17 - Condições de estudo do Cenário 1.

Tabela 1 - Grua de Coluna + Trolley				
Ano	Inves.	C. Oper.	C. Oport	C. Total
0	20 000			
	3 000			
	1 500			
1		1 320	12 833	14 153
2		1 320	12 833	14 153
3		1 320	12 833	14 153
4		1 320	12 833	14 153
5		1 320	12 833	14 153
6		1 320	12 833	14 153
7		1 320	12 833	14 153
8		1 320	12 833	14 153
9		1 320	12 833	14 153
10		1 320	12 833	14 153

De seguida fez-se uma análise de investimento considerando os custos atualizados ao ano zero a uma taxa de atualização de 6%. Calculou-se ainda o valor atualizado líquido dos fluxos de caixa.

Tabela 6.18 - Estudo de Viabilidade Económica e Financeira 2 - Cenário 1.

Grua de Coluna + Trolley											
Taxa	0,06										
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento	24 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Custos anuais de Operação	0	1 320	1 320	1 320	1 320	1 320	1 320	1 320	1 320	1 320	1 320
Custos anuais de Oportunidade	0	12 833	12 833	12 833	12 833	12 833	12 833	12 833	12 833	12 833	12 833
Custos anuais Totais	24 500	14 153	14 153	14 153	14 153	14 153	14 153	14 153	14 153	14 153	14 153
Receitas Anuais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluxo de Caixa	-24 500	-14 153	-14 153	-14 153	-14 153	-14 153	-14 153	-14 153	-14 153	-14 153	-14 153
Atualização das Receitas ao ano 0	0										
Atualização das Despesas ao ano 0	117 076										
Índice de Rendibilidade	0,000	VAL no ano 1	VAL no ano 2	VAL no ano 3	VAL no ano 4	VAL no ano 5	VAL no ano 6	VAL no ano 7	VAL no ano 8	VAL no ano 9	VAL no ano 10
VAL no período de estudo	-117 076	-35 157	-46 519	-57 238	-67 351	-76 891	-85 890	-94 381	-102 391	-109 947	-117 076

O resultado desta análise de investimento foi um **VAL de -117 076€** num período de operação de 10 anos.

O cenário proposto 2, que descreve o fornecimento e instalação de uma ponte rolante, foi estudado num período de 10 anos. Tal como no estudo anterior, não foram considerados recebimentos associados e assumiu-se que os custos de operação e oportunidade se mantinham constantes durante o período estudado.

Tabela 6.19 - Condições de estudo do Cenário 2.

Tabela 2 - Ponte Rolante				
Ano	Inves.	C. Oper.	C. Oport.	C. Total
0	40 000			
	5 000			
1		5 280	6 160	11 440
2		5 280	6 160	11 440
3		5 280	6 160	11 440
4		5 280	6 160	11 440
5		5 280	6 160	11 440
6		5 280	6 160	11 440
7		5 280	6 160	11 440
8		5 280	6 160	11 440
9		5 280	6 160	11 440
10		5 280	6 160	11 440

De seguida fez-se a análise de investimento considerando os custos atualizados ao ano zero a uma taxa de atualização de 6%. Calculou-se também o valor atualizado líquido dos fluxos de caixa

Tabela 6.20 - Estudo de Viabilidade Económica e Financeira 3 - Cenário 2.

Ponte Rolante											
Taxa	0,06										
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento	45 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Custos anuais de Operação	0	5 280	5 280	5 280	5 280	5 280	5 280	5 280	5 280	5 280	5 280
Custos anuais de Oportunidade	0	6 160	6 160	6 160	6 160	6 160	6 160	6 160	6 160	6 160	6 160
Custos anuais Totais	45 000	11 440	11 440	11 440	11 440	11 440	11 440	11 440	11 440	11 440	11 440
Receitas Anuais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluxo de Caixa	-45 000	-11 440	-11 440	-11 440	-11 440	-11 440	-11 440	-11 440	-11 440	-11 440	-11 440
Atualização das Receitas ao ano 0	0										
Atualização das Despesas ao ano 0	107 905										
Índice de Rendibilidade	0,000	VAL no ano 1	VAL no ano 2	VAL no ano 3	VAL no ano 4	VAL no ano 5	VAL no ano 6	VAL no ano 7	VAL no ano 8	VAL no ano 9	VAL no ano 10
VAL no período de estudo	-107 905	-50 842	-58 757	-66 223	-73 267	-79 913	-86 182	-92 096	-97 675	-102 939	-107 905

O resultado desta análise de investimento foi um **VAL de -107 905€** num período de operação de 10 anos.

Retiram-se duas conclusões deste estudo. A primeira conclusão é que o segundo cenário de investimento proposto, referente à aquisição de uma ponte rolante, possui os indicadores mais favoráveis nas condições estudadas, esperando-se que a sua exploração resulte num VAL de -107 905€ superando os valores obtidos das propostas concorrentes. A segunda conclusão a retirar do estudo é o facto de que ao segundo ano de atividade as duas propostas de investimento já superarem o VAL referente à exploração nas condições atuais, compensando os respetivos investimentos. A terceira conclusão, auxiliada pela interpretação do gráfico da *Figura 6.7*, reside no facto de que entre os 2 e os 6 anos em estudo o primeiro cenário proposto revela menos custos de exploração atualizados. Conclui-se ainda que a partir do sétimo ano de atividade o segundo cenário proposto revela menos custos de exploração atualizados, apesar do maior investimento inicial.

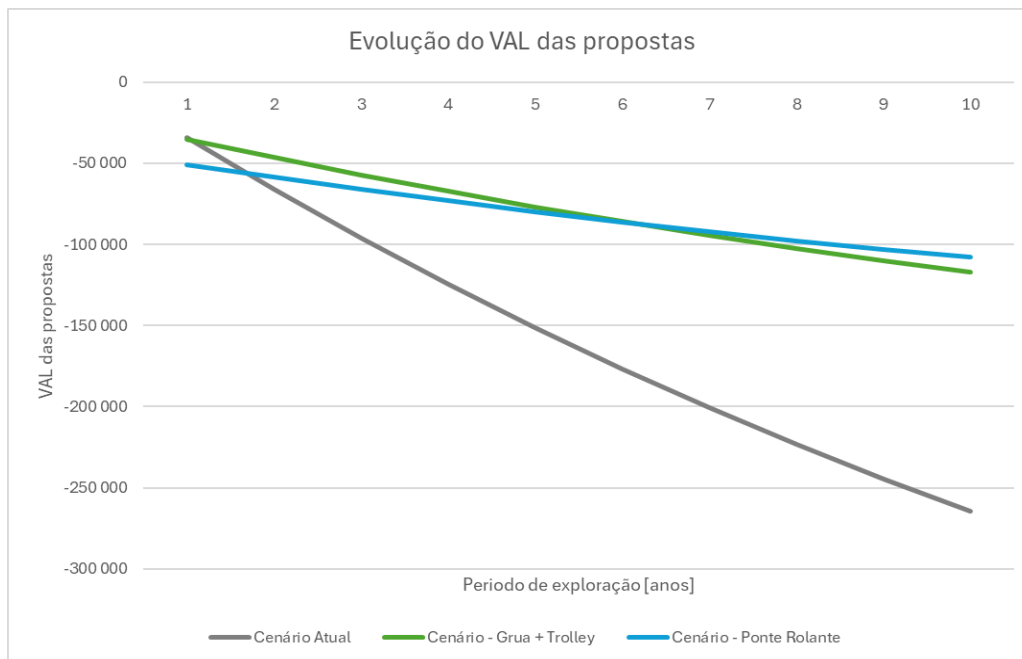


Figura 6.7 - Gráfico comparativo de cenários. Evolução do VAL das propostas. (Movimentação Lenta)

6.2.2 EVEF Y

O terceiro cenário a ser estudado é a possibilidade de substituição do elevador de alcatruzes do subsistema de recolha de granalha do sistema de decapagem. Esta proposta visa mitigar o modo de falha relativo às perdas de produtividade associadas às avarias e consequentes imobilizações frequentes do equipamento no processo de decapagem.

O cenário atual assume que o transporte de granalha é realizado pelo elevador de alcatruzes existente e que as avarias ocorrem no equipamento resultando em ações de manutenção corretiva. Estas ações afetam dois postos de trabalho, o posto de trabalho da decapagem e o posto de trabalho da pré-montagem dado que o seu operário é destacado para solucionar a avaria. Os dados relevantes da operação em causa são:

- 1 evento mensal de avaria;
- 4h de imobilização por episódio;
- 2 postos de trabalho afetados.

O cenário proposto neste estudo assume que o transporte de granalha é realizado pelo novo elevador de alcatruzes, não ocorrendo avarias e, por consequência, não afetando postos de trabalho. Os dados relevantes da operação em causa são:

- O equipamento de decapagem tem uma taxa de utilização de 90%;
- Custo de fornecimento e instalação 20 000€.

De maneira a concretizar o estudo de viabilidade económica e financeira realizou-se uma recolha e resumo das informações que o sustentam.

Tendo em conta as informações gerais de operação da empresa da *Tabela 6.21*, calcularam-se as durações de operação mensal e anual do equipamento de decapagem existente.

Tabela 6.21 - Informações de operação do processo de decapagem. Cenário Atual (esquerda). Cenário Proposto (direita).

Informações Gerais de Operação do Processo de Decapagem			Informações Gerais de Operação do Processo de Decapagem		
Ocupação	0,9	90%	Ocupação	0,9	90%
Duração da operação anual	1900,8	h/ano	Duração da operação anual	1900,8	h/ano
Nº de imobilizações	1	un.	Nº de imobilizações	0	un.
Duração da	4	h	Duração da	4	h
Período de imobilização anual	48	h	Período de imobilização anual	0	h
Porcentagem de imobilização anual	0,025253	2,53%	Porcentagem de imobilização anual	0	0,00%
Duração da operação anual real	1852,8	h/ano	Duração da operação anual real	1900,8	h/ano
Duração da operação mensal real	154,4	h/mês	Duração da operação mensal	158,4	h/mês

Consecutivamente calculou-se o valor de recebimentos extraídos da operação de decapagem durante um ano de atividade.

Tabela 6.22 - Recebimentos da operação de decapagem. Cenário Atual (esquerda). Cenário Proposto (direita).

Recebimentos da operação de Decapagem			Recebimentos da operação de Decapagem		
Valor da hora de operação da	50	€/h	Valor da hora de operação da	50	€/h
Valor da operação mensal da Decapagem	7 720	€/mês	Valor da operação mensal da	7 920	€/mês
Valor da operação anual da Decapagem	92 640	€/ano	Valor da operação anual da Decapagem	95 040	€/ano

Através das taxas e consumos dos equipamentos e consumíveis estudados, foi calculado o custo de operação anual estimado deste sistema produtivo.

Tabela 6.23 - Custos da operação de decapagem. Cenário Atual (esquerda). Cenário Proposto (direita).

Custos da operação de Decapagem			Custos da operação de Decapagem		
Eletricidade	10	€/h	Eletricidade	10	€/h
Compressor	5	€/h	Compressor	5	€/h
Granalha	50	€/mês	Granalha	50	€/mês
Nº de colaboradores	1	un.	Nº de colaboradores	1	un.
Colaborador	10	€/h	Colaborador	10	€/h
Custo da operação mensal da Decapagem	4 126	€/mês	Custo da operação mensal da	4 186	€/mês
Custo da operação anual da Decapagem	49 512	€/ano	Custo da operação anual da Decapagem	50 232	€/ano

Ainda relativamente os custos inerentes ao equipamento existente, foi feita uma estimativa dos custos relativos às intervenções e ações de manutenção corretiva anuais.

Tabela 6.24 – Custos de manutenção corretiva de decapagem. Cenário Atual (esquerda). Cenário Proposto (direita).

Custos da manutenção de Decapagem			Custos da manutenção de Decapagem		
Nº de colaboradores mobilizados	1	un.	Nº de colaboradores mobilizados	0	un.
Custo de materiais e consumíveis utilizados	20	€	Custo de materiais e consumíveis utilizados	0	€
Custo de oportunidade mensal perdido por inatividade do colaborador deslocado	200	€/mês	Custo de oportunidade mensal perdido por inatividade do colaborador deslocado	0	€/mês
Custo de oportunidade mensal perdido por inatividade do equipamento	200	€/mês	Custo de oportunidade mensal perdido por inatividade do equipamento	0	€/mês
Custos de Manutenção da Decapagem mensal	420	€/mês	Custos de Manutenção da Decapagem mensal	0	€/mês
Custos de Manutenção da Decapagem anual	5040	€/ano	Custos de Manutenção da Decapagem anual	0	€/ano

Por fim realizou-se um balanço de contas e apurou-se o fluxo de caixa anual resultante da operação anual do equipamento de decapagem.

Tabela 6.25 – Movimentos financeiros da operação de decapagem. Cenário Atual (esquerda). Cenário Proposto (direita).

Movimentos financeiros da operação de Decapagem			Movimentos financeiros da operação de Decapagem		
Ganhos Totais Anuais	92 640	€/ano	Ganhos Totais Anuais	95 040	€/ano
Gastos Totais Anuais	54 552	€/ano	Gastos Totais Anuais	50 232	€/ano
Fluxo de Caixa Anual	38 088	€/ano	Fluxo de Caixa Anual	44 808	€/ano

Depois de fundamentados os gastos e ganhos das operações anuais dos equipamentos nos dois cenários realizou-se o estudo comparativo dos mesmos.

O primeiro cenário, que descreve o funcionamento atual do equipamento e não envolve investimentos, foi estudado num período de 10 anos. Assumiu-se que os recebimentos e os custos de operação e manutenção se mantinham constantes durante o período estudado.

Tabela 6.26 - Condições de estudo do Cenário Atual.

Tabela 1 - Equipamento Antigo					
Ano	Inves.	C. Oper.	C. Manu	C. Total	Recebimentos
0	0				
1		49 512	5 040	54 552	92 640
2		49 512	5 040	54 552	92 640
3		49 512	5 040	54 552	92 640
4		49 512	5 040	54 552	92 640
5		49 512	5 040	54 552	92 640
6		49 512	5 040	54 552	92 640
7		49 512	5 040	54 552	92 640
8		49 512	5 040	54 552	92 640
9		49 512	5 040	54 552	92 640
10		49 512	5 040	54 552	92 640

De seguida fez-se uma análise de investimento considerando os custos e receitas atualizados ao ano zero a uma taxa de atualização de 6%. Calculou-se ainda o índice de rentabilidade do projeto e o valor atualizado líquido dos fluxos de caixa.

Tabela 6.27 - Estudo de Viabilidade Económica e Financeira 4 - Cenário Atual.

Equipamento Antigo											
Taxa	0,06										
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Custos anuais de Operação	0	49 512	49 512	49 512	49 512	49 512	49 512	49 512	49 512	49 512	49 512
Custos anuais de Manutenção	0	5 040	5 040	5 040	5 040	5 040	5 040	5 040	5 040	5 040	5 040
Custos anuais Totais	0	54 552	54 552	54 552	54 552	54 552	54 552	54 552	54 552	54 552	54 552
Receitas Anuais	0	92 640	92 640	92 640	92 640	92 640	92 640	92 640	92 640	92 640	92 640
Fluxo de Caixa	0	38 088	38 088	38 088	38 088	38 088	38 088	38 088	38 088	38 088	38 088
Atualização das Receitas ao ano 0	681 838										
Atualização das Despesas ao ano 0	401 507										
Índice de Rendibilidade	1,698	VAL no ano 1	VAL no ano 2	VAL no ano 3	VAL no ano 4	VAL no ano 5	VAL no ano 6	VAL no ano 7	VAL no ano 8	VAL no ano 9	VAL no ano 10
VAL no período de estudo	280 331	35 932	69 830	101 810	131 979	160 441	187 291	212 622	236 519	259 063	280 331

Os resultados desta análise de investimento foram um índice de rentabilidade de 1,698 e um **VAL de 280 331€** num período de operação de 10 anos.

O segundo cenário, que descreve o funcionamento do equipamento novo, envolve um investimento de 20 000€ e foi estudado num período de 10 anos. Assumiu-se que os recebimentos e os custos de operação e manutenção se mantinham constantes durante o período estudado.

Tabela 2 - Novo Equipamento					
Ano	Inves.	C. Oper.	C. Manu	C. Total	Recebimentos
0	20 000				
1		50 232	0	50 232	95 040
2		50 232	0	50 232	95 040
3		50 232	0	50 232	95 040
4		50 232	0	50 232	95 040
5		50 232	0	50 232	95 040
6		50 232	0	50 232	95 040
7		50 232	0	50 232	95 040
8		50 232	0	50 232	95 040
9		50 232	0	50 232	95 040
10		50 232	0	50 232	95 040

Figura 6.8 - Condições de estudo do Cenário Proposto.

De seguida, seguindo o procedimento anterior, fez-se a análise de investimento do segundo cenário. Calculou-se ainda o índice de rentabilidade do projeto e o valor atualizado líquido dos fluxo de caixa.

Novo Equipamento											
Taxa	0,06										
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento	20 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Custos anuais de Operação	0	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232
Custos anuais de Manutenção	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Custos anuais Totais	20 000	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232	50 232
Receitas Anuais	0	95 040	95 040	95 040	95 040	95 040	95 040	95 040	95 040	95 040	95 040
Fluxo de Caixa	-20 000	44 808	44 808	44 808	44 808	44 808	44 808	44 808	44 808	44 808	44 808
Atualização das Receitas ao ano 0	699 503										
Atualização das Despesas ao ano 0	380 248										
Índice de Rentabilidade	1,840	VAL no ano 1	VAL no ano 2	VAL no ano 3	VAL no ano 4	VAL no ano 5	VAL no ano 6	VAL no ano 7	VAL no ano 8	VAL no ano 9	VAL no ano 10
VAL no período de estudo	319 255	24 472	65 358	103 930	140 319	174 648	207 034	237 587	266 410	293 602	319 255

Figura 6.9 - Estudo de Viabilidade Económica e Financeira 5 - Cenário Proposto.

Os resultados desta análise de investimento foram um índice de rentabilidade de 1,84 e um **VAL de 319 255€** num período de operação de 10 anos.

Retiram-se duas conclusões deste estudo. A primeira conclusão é que o cenário de investimento e aquisição do novo equipamento de transporte de granalha possui os indicadores mais favoráveis nas condições estudadas. A segunda conclusão é que, segundo esta análise, a partir do terceiro ano de atividade o segundo cenário apresenta um valor atualizado líquido superior, mantendo a tendência até ao final do período de estudo.

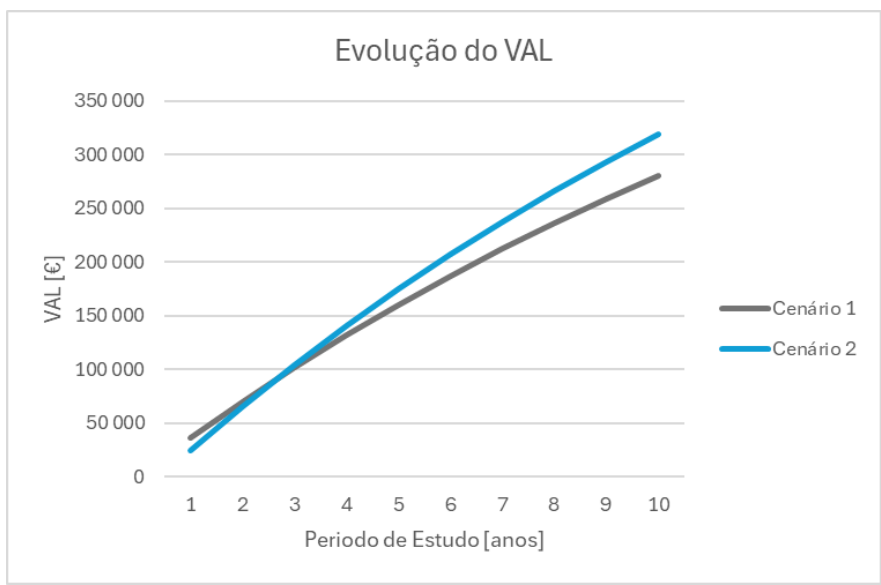


Figura 6.10 - Gráfico comparativo de cenários. Evolução do VAL das propostas. (Avaria no equipamento de decapagem)

7 Conclusão

O estudo de caso do sistema produtivo analisado permitiu a sua caracterização, avaliação e modelação tendo sido alcançados múltiplos resultados e conclusões de acordo com as hipóteses testadas.

O acompanhamento em fábrica do processo real enquadró o objeto de estudo, os processos e os seus intervenientes permitindo compreender as relações entre operações e as sequências de trabalho implementadas. Esta contextualização relativamente ao funcionamento deste sistema produtivo permitiu a sua descrição e esquematização detalhada.

O processo consequente de caracterização do sistema partiu de uma recolha e registo de informações em diferentes frentes. Foram primeiramente recolhidos testemunhos de vários departamentos, desde a gestão e coordenação da produção até aos executantes dos processos em fábrica. Consultaram-se históricos e documentação técnica relevante e ainda foram realizadas medições e levantamentos no local.

Este trabalho de pesquisa e investigação consumiu-se no Capítulo 3, mais especificamente nos subcapítulos 3.1 e 3.2. Foi nestes que se contextualizou o estudo de caso e se caracterizou o sistema produtivo em análise incluindo as suas 4 fases de produção e 14 etapas de trabalho.

Reunidas as matérias de interesse, os dados foram processados e relacionados com vista à construção de um modelo analítico representativo do sistema real. A ferramenta escolhida para a compilação e tratamento dos dados foi a folha de cálculo de Excel. As suas potencialidades permitiram relacionar as variáveis disponíveis através de equações e funções resultando num modelo analítico operacional que devolve os consumos e durações das operações quando introduzidas as necessidades de produção a ensaiar.

Após a caracterização do sistema procurou-se identificar e avaliar as ineficiências e limitações do mesmo tendo sido construída uma FMEA aplicada ao estudo de processos, PFMEA. A aplicação desta metodologia, tanto na identificação como na avaliação dos modos de falha foi um resultado direto do processo de recolha de testemunhos e investigação, tendo este sido reportado no capítulo 3.3. Da análise de modo e efeito de falha do processo de fabrico estudado resultaram 210 modos de falha diferentes. A sua classificação quanto ao risco que representam, refletida pelo indicador RPN, identificou 2 modos de falha classificados como de alto risco, sendo estes prioritários e devendo ser atacados com urgência considerável. A

análise geral revela ainda que 50% dos modos de falha estudados apresentam um risco moderado, cumprindo estes o requisito para a abertura de um processo de intervenção para a minimização do risco.

A análise estatística dos fatores de risco de forma individual permitiu ainda retirar uma série de conclusões relevantes para o estudo do sistema.

Verificou-se que a ocorrência de modos de falha foi manifestamente baixa, contabilizando-se que 3 em cada 5 eventos de possível falha dificilmente se concretizam. Por outro lado, constatou-se que 10 modos de falha possuem alta probabilidade de ocorrência, merecendo estes uma análise mais aprofundada e uma intervenção célere.

O critério de severidade revelou que 71,91% dos modos de falha analisados possuem uma severidade moderada ou alta. Dado o setor em que se insere este sistema produtivo, podemos concluir que esta estatística se enquadra nas condições habituais do meio agressivo e perigoso que incorpora a indústria metalomecânica. Estes valores estão fortemente associados aos processos e técnicas praticados bem como aos equipamentos utilizados.

Quanto ao fator de detetabilidade conclui-se que a grande maioria dos modos de falha é de deteção difícil ou moderada (70,95%). Este fator está fortemente ligado à antecipação dos episódios de risco bem como à consciência das condições de operação seguras no espaço de trabalho, competência da qual este sistema produtivo carece.

No subcapítulo 3.4 estudaram-se as causas raiz dos eventos identificados com risco moderado e alto, concluindo-se que, dada a repetição e semelhança dos modos de falha das diferentes operações, os 107 modos de falha a intervir se podiam ser resumidos em apenas 17.

O quarto capítulo explora o desenvolvimento de propostas de melhoria e a definição de novas estratégias de trabalho. Com o intuito de facilitar o processo, foi realizado um agrupamento dos modos de falha de acordo com as tipologias de problema que integram, tendo sido criados 4 grupos que categorizam as áreas de atuação de visam mitigar os episódios e diminuir o risco a eles associado. As quatro categorias distribuídas por quatro subcapítulos foram, os procedimentos, as formações, o planeamento e a reestruturação.

A categoria “Procedimentos”, abordada no subcapítulo 4.1, engloba as operações cujos modos de falha se baseiam em erros na forma de proceder, bem como as propostas para a sua melhoria.

Neste são apresentadas 3 propostas destinadas a combater 4 modos de falha provocados por falhas operacionais.

A primeira proposta recomenda a criação de um procedimento de preenchimento e revisão de propostas por forma a aumentar produtividade e eficácia num processo fundamental como a submissão de propostas.

A segunda proposta recomenda a criação de dois procedimentos para os departamentos de preparação e produção para que sejam evitados erros e equívocos e conseqüentemente desperdícios e ineficiências. Para o primeiro sugere-se a criação de um procedimento de preparação que descreva as etapas de preparação num formato sequencial sucinto e numerado. Para o segundo é proposta a criação de um procedimento em formato de fluxograma que descreva a seqüência de etapas a executar, incluindo formas de proceder em caso de anomalia/problema.

A terceira proposta incide sobre o equipamento de EPI's deficiente no processo de decapagem, devendo ser executado um procedimento no formato de listagem detalhada de etapas a cumprir, assinalar e assinar, checklist, durante cada evento de equipamento de EPI's. Documento a ser postumamente arquivado para elemento de avaliação futura.

A categoria “Formações”, abordada no subcapítulo 4.2, engloba as operações cujos modos de falha são originados por más práticas e atitudes que comprometem a segurança do espaço de trabalho, bem como as propostas para a sua melhoria.

Neste são apresentadas 2 propostas destinadas a combater 9 modos de falha provocados por perdas de operação.

A quarta proposta, também recai sobre o equipamento de EPI's deficiente no processo de decapagem, e sugere a concretização de uma formação teórica, seguida de uma sessão de exemplificação e avaliação de procedimentos de forma a demonstrar as boas práticas e educar os colaboradores a esse respeito.

A quinta proposta pretende combater um aglomerado de acidentes sinalizados como modos de falha de risco prioritário na PFMEA executada. Para tal, identificaram-se como elementos formativos essenciais a executar a sensibilização e educação de todos os envolvidos no ambiente industrial com base na formação de segurança na operação e manobra de veículos em fábrica, a formação no âmbito da higiene e segurança no trabalho, com especial foco na

utilização dos EPI's e por fim uma formação com incidência no tema da arrumação, boas práticas e comportamentos no espaço de trabalho.

A categoria "Planeamento", abordada no subcapítulo 4.3, engloba as operações cujos modos de falha são originados pela má gestão e organização dos tempos e recursos disponíveis, bem como as propostas para a sua melhoria.

Neste são apresentadas 2 propostas destinadas a combater 3 modos de falha provocados por perdas de gestão e processamento inapropriado.

A sexta proposta recomenda a aplicação da metodologia de balanceamento de linhas para equilibrar a carga de trabalho dos colaboradores e equipamentos. Desequilíbrio que se identificou como ocasional na PFMEA e se confirmou como substancial no exercício matemático do subcapítulo 4.3, demonstrando este que a linha produtiva real possui uma eficiência de apenas 43,98%.

Foram estudados dois cenários de balanceamento.

O primeiro cenário tem por objetivo o cumprimento da meta produtiva real, mantendo o tempo de ciclo e minimizando o número de estações de trabalho. Este exercício demonstrou que na teoria é possível produzir 6 guardas metálicas por turno de 8h, com apenas 4 postos de trabalho. Resultando desta estratégia uma eficiência teórica de 80,28%, aumento substancial relativamente ao estado atual.

Após alcançar os resultados analíticos descritos, foi proposta a hipótese A que convida à modelação, validação e simulação do cenário 01 em software ARENA a fim de compreender quais os resultados esperados após a implementação dessa configuração num cenário industrial real.

No capítulo 5, subcapítulo 5.1 o procedeu-se à modelação, simulação e validação do modelo analítico com um erro calculado aceitável de 0,46%.

No subcapítulo 5.2, tendo o modelo real validado como base foram efetuadas modificações aos módulos lógicos e replicada a configuração proposta na hipótese A, relativa ao cenário balanceado 01.

Simulado o modelo conclui-se que, nas condições enunciadas na hipótese A, seriam necessárias 8,04h para cumprir a meta produtiva, ao contrário das 7,33h resultantes do exercício analítico. Apesar da diferença verificada o erro associado à hipótese corresponde a 9,61%, condição suficiente para dar como válida a hipótese A.

O segundo cenário tem como foco a manutenção da força produtiva, assegurando a ocupação a tempo inteiro dos oito colaboradores. Este exercício analítico, presente no subcapítulo 4.3, demonstrou que na teoria é possível produzir 14 guardas metálicas por turno de 8h, com os 8 postos de trabalho. Resultando desta estratégia uma eficiência teórica de 93,64%.

Assim como no primeiro cenário, foi proposta a hipótese B que convida à modelação, validação e simulação do cenário 02 em software ARENA.

No subcapítulo 5.3, tendo por base o modelo real validado aplicaram-se modificações aos módulos lógicos e foi replicada a configuração proposta na hipótese B.

Simulado o modelo conclui-se que, nas condições enunciadas na hipótese B, seriam necessárias 8,78h para cumprir a meta produtiva, ao contrário das 7,98h resultantes do exercício analítico. Dada a diferença verificada o erro associado à hipótese corresponde a 10,08%, não existindo condições para validar a hipótese B.

A sétima proposta trata sobre o processamento inapropriado e episódios de improdutividade de diferente natureza, desde a não realização de operações até à sua execução fora dos prazos destinados. Esta recomenda que se adote uma estratégia de gestão e planeamento dedicada com especial enfoque na implementação de um sistema de sinalização e controlo de ciclos produtivos, como o Kanban. Esta proposta foi caracterizada e dimensionada no capítulo 4.3.2. a fim de poder vir a ser testada e validada no futuro.

A categoria “Reestruturações”, abordada no subcapítulo 4.4, engloba as operações cujos modos de falha provêm de disfunções operacionais e ausência de equipamentos de suporte à operação, bem como as propostas para a sua melhoria. Neste subcapítulo são apresentadas 2 propostas destinadas a combater 2 modos de falha.

A proposta nº8 ataca a problemática da movimentação lenta de guardas metálicas no processos de tratamento de superfícies, sendo recomendadas duas hipóteses de melhoria. A primeira hipótese sugere a instalação de uma grua de coluna orientável, a segunda hipótese sugere a instalação de uma ponte rolante no topo do pavilhão de tratamentos de superfície. Um exercício teórico no formato de um estudo de viabilidade económica e financeira realizado no capítulo 6 conclui que, nas condições ensaiadas, a partir do sétimo ano de atividade a segunda hipótese, ponte rolante, se revela não só mais económica que a primeira opção como mais económica que o cenário atual de funcionamento.

A nona proposta de melhoria propõe-se a minimizar o modo de falha referente à avaria recorrente do equipamento de decapagem. Perante esta situação a atitude recomendada passa pela substituição do equipamento atual por um novo. Com o propósito de estimar quais

as implicações e consequências financeiras desta proposta realizou-se um exercício teórico no formato de um estudo de viabilidade económica e financeira. Deste estudo conclui-se que, nas condições ensaiadas, a partir do terceiro ano de atividade os custos de operação do novo equipamento são superados o custo de oportunidade perdido por imobilização do equipamento, sendo recomendável avançar com a substituição.

Na forma de conclusão final, importa referir que no processo de desenvolvimento desta dissertação foram cumpridos os objetivos elementares inicialmente propostos, tendo sido feitos esforços, apresentadas e validadas propostas fundamentadas com o propósito único de aumentar a eficiência do sistema de produção apresentado

7.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Na perspetiva de trabalhos futuros considera-se que alguns dos trabalhos desenvolvidos nesta dissertação poderiam ser retomados e aprofundados.

Propõe-se o desenvolvimento de uma nova PFMEA baseada num registo de dados mais preciso e fidedigno, resultado de um acompanhamento do sistema produtivo mais prolongado, metódico e incisivo.

Relativamente ao tema da segurança, seria interessante realizar uma Avaliação de Riscos Profissionais ou contratar um prestador de serviços para o efeito. No mesmo tópico deveria postumamente ser definido um Plano de Prevenção adequando ao ambiente de trabalho.

Outra proposta seria o desenvolvimento de um projeto piloto com o propósito de ensaiar em fábrica a hipótese A já validada nesta dissertação. No mesmo alinhamento sugere-se a continuação dos trabalhos de desenvolvimento da hipótese B de maneira a torná-la adequada a um turno de trabalho de 8 horas e averiguar o seu potencial por explorar.

Concretizada a caracterização e o dimensionamento do sistema Kanban no capítulo 6, sugere-se o desenvolvimento de um projeto piloto com vista a implementar este método de gestão de fluxos de trabalho e estudar as suas consequências no sistema produtivo.

Por fim, recomenda-se o desenvolvimento de novos estudos de viabilidade económica e financeira, assentes em informação resultante da atividade real da empresa.

8 Referências

- Abecassis, F., & Cabral, N. (1991). *Análise Económica e Financeira de Projetos* (Fundação Calouste Gulbenkian, Ed.). Fundação Calouste Gulbenkian.
- Ajslev, J. Z. N., Sundstrup, E., Jakobsen, M. D., Kines, P., Dyreborg, J., & Andersen, L. L. (2018). Is perception of safety climate a relevant predictor for occupational accidents? A prospective cohort study among blue-collar workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 44(4), 370–376. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3723>
- Akalu, M. (2001). Re-examining Project Appraisal and Control: Developing a Focus on Wealth Creation. *International Journal of Production Management*, 375–383.
- Alexandre, R., Silva Correia, J. P., Prado, M., Zaroni, J. S., & Ribeiro, R. R. C. (2018). Aplicação da simulação a eventos discretos em uma célula de uma indústria de material bélico. *Produção Em Foco*, 8(3). <https://doi.org/10.14521/p2237-5163.2018.0016.0002>
- Andradottir, S., Healy, K. J., Withers, D. H., & Nelson, B. L. (1997). *INTRODUCTION TO MODELING AND SIMULATION*.
- Antonsen, S. (2009). The relationship between culture and safety on offshore supply vessels. *Safety Science*, 47(8), 1118–1128. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.12.006>
- Babulak, E., & Wang, M. (2010a). *Discrete Event Simulation 1 X Discrete Event Simulation*. www.intechopen.com
- Babulak, E., & Wang, M. (2010b). *Discrete Event Simulation 1 X Discrete Event Simulation*. www.intechopen.com
- Baram, M., & Schoebel, M. (2007). Safety culture and behavioral change at the workplace. *Safety Science*, 45, 631–636.
- Barros, C. (1998). *Decisões de Investimento e Financiamento de Projectos* (Edições Sílabo Lda).
- Barros, C. P. (2007). *Avaliação Financeira de Projetos de Investimento*. Escolar.
- Barros, H. (1991). *Análise de projectos de investimento* (2nd ed.). Edições Sílabo.
- Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 694–715.
- Bettencourt Santos Nunes Capitão, M. (2016). *ANÁLISE DAS METODOLOGIAS DE SELEÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO DAS PME*. ISCTE Business School.
- Bossel, H. (1994). *Modeling and Simulation*.
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 674–693.
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2008). Assembly line balancing: Which model to use when? In *International Journal of Production Economics*.

- Brandt, M., Andersen, L. L., Kines, P., & Ajslev, J. Z. N. (2023). Safety climate at work and risk of long-term sickness absence: Prospective cohort with register follow-up among 63,500 workers. *Safety Science*, 166. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106217>
- Brealey, R., & Myers, S. (1998). *Princípios de Finanças Empresariais* (3rd ed.). McGraw--Hill.
- Cardoso, C. (2017). Safety Management System (SMS). In ANAC.
- Clarke, S. (1999). Perceptions of organizational safety: implications for the development of safety culture. *Journal of Organizational Behavior*, 20, 185–198.
- Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. *Safety Science*, 36, 111–136.
- Costa, G., & Sartori, S. (2007). Ageing, working hours and work ability. *Ergonomics*, 50(11), 1914–1930. <https://doi.org/10.1080/00140130701676054>
- Cox, S. J., & Cheyne, A. J. T. (2000). Assessing safety culture in offshore environments. *Safety Science*, 34, 111–129.
- DAMIÃO, E. (1995). *Manual de Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho*.
- Dias, L. S. (2005). *Modelação automática interativa de simulação*. Universidade do Minho.
- Failure mode and effects analysis*. (2023, December). https://en.wikipedia.org/wiki/Failure_mode_and_effects_analysis.
- Fleming, M. (2001). Safety Culture Maturity Model, Offshore Technology Report. *Health & Safety Executive*.
- Grimaldi, J. V., & Simonds, R. H. (1975). *Safety management*. (Irwin).
- Guldenmund, F. W. (2000). The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science*, 34, 215–257.
- Hassan, A., Siadat, A., & Dantan, J. (2009). A quality/cost-based improvement approach for conceptual process planning. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 188–197.
- Henderson, M., Glozier, N., & Elliott, K. H. (2005). Long term sickness absence. *BMJ* 330, 802–803.
- Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*.
- Hudson, P. (2007). Implementing a safety culture in a major multi-national. *Safety Science*, 45, 697–722.
- João, R., Viegas, V., & Rebelo, S. (2007). *MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DECISÃO DE INVESTIMENTO A REALIDADE EMPRESARIAL DO ALGARVE*.
- Kasim, H., Hassan, C. R. C., Hamid, M. D., Emami, S. D., & Danaee, M. (2019). The relationship of safety climate factors, decision making attitude, risk control, and risk estimate in Malaysian radiation facilities. *Safety Science*, 113, 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.11.025>
- Kim, Y. J., & Park, M. P. (2016). Creating a Culture of Prevention in Occupational Safety and Health Practice. *Safety and Health at Work*, 7(2), 89–96.

- Kivimäki, M., Head, J., Ferrie, J. E., Shipley, M. J., Vahtera, J., & Marmot, M. G. (2003). *Papers Sickness absence as a global measure of health: evidence from mortality in the Whitehall II prospective cohort study.*
- Kumru, M. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. In *Applied Soft Computing* (Vol. 13, pp. 721–733).
- Leka, S., Torres, L., Jain, A., Di Tecco, C., Russo, S., & Iavicoli, S. (2023). Relationship Between Occupational Safety and Health Policy Principles, Organizational Action on Work-related Stress and the Psychosocial Work Environment in Italy. *Safety and Health at Work*. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2023.10.001>
- Lund, T., Kivimäki, M., Labriola, M., Villadsen, E., & Christensen, K. B. (2008). Using administrative sickness absence data as a marker of future disability pension: The prospective DREAM study of Danish private sector employees. *Occupational and Environmental Medicine*, 65(1), 28–31. <https://doi.org/10.1136/oem.2006.031393>
- Marques, A. (1998). *Concepção e análise de projectos de investimento*. Sílabo.
- Marques, A. (2006). *Concepção e Análise de Projetos de Investimento*. Edições Sílabo.
- Martins, A., Cruz, I., Silva, P., Augusto, M., & Gonçalves, P. (2009). *Manual de Gestão Financeira Empresarial*. Coimbra Editora.
- Maurice, P., Lavoie, M., Chapdelaine, A., & Bélanger-Bonneau, H. (1997a). Safety and safety promotion: Conceptual and operational aspects. *Chronic Dis Canada*, 18(4), 179–186.
- Maurice, P., Lavoie, M., Chapdelaine, A., & Bélanger-Bonneau, H. (1997b). Safety and safety promotion: Conceptual and operational aspects. *Chronic Dis Canada*, 18(4), 179–186.
- McShane, S. L., & Travaglione, A. (2003). *Organisational behaviour on the Pacific rim* (McGraw-Hill).
- Mithá, O. (2009). *Análise de Projetos de Investimento*. Escolar Editora.
- Moura, C. (2000). *ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL (FMEA) MANUAL DE REFERÊNCIA*.
- Nævestad, T.-O., Hesjevoll, I. S., Ranestad, K., & Antonsen, S. (2019). Strategies regulatory authorities can use to influence safety culture in organizations: Lessons based on experiences from three sectors. *Safety Science*, 118, 409–423.
- Oh, C. H., Park, J. H., & Ghauri, P. N. (2013). Doing right, investing right: Socially responsible investing and shareholder activism in the financial sector. *Business Horizons*, 56(6), 703–714. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2013.07.006>
- Olson, D. L. (2003). *Software Process Simulation*.
- P. Ahire, C. (2012). *Procedia Engineering* (Vol. 38).
- Paiva, A. F. de O. (2005). *Geração automática de modelos de simulação de uma linha de produção na indústria têxtil*. Universidade do Minho, Portugal.

- Paulo Pinto, J. (2023). *CYCLE TIME VS TAKT TIME*. <https://www.cltservices.net/artigos-e-noticias/cycle-time-vs-takt-time>.
- Pidgeon, N. (1998). Safety culture: key theoretical issues. *Work and Stress*, 12, 202–216.
- Planeamento de Projetos - LinkedIn*. (n.d.). <https://www.linkedin.com/pulse/planejamento-de-projetos-cpm-e-pert-evandro-luiz-de-oliveira/?originalsubdomain=pt>.
- Remer, D., & Nieto A. (1995). A Compendium and Comparison of 25 Project Evaluation Techniques. Part 1: Net present value and rate of return methods. *International Journal of Production Economics*, 42, 79–96.
- Richard A., & Myers, S. C. (2007). *Princípios de Finanças Empresariais* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Rinefort, F. C. (1976). A Study of Some of the Costs and Benefits Related to Occupational Safety and Health. *Dissertation Abstracts International*.
- Roldão, V., & Ribeiro, J. (2007). *Gestão das Operações*. Monitor.
- Salah, B., Alnahhal, M., & Ali, M. (2017). Risk prioritization using a modified FMEA analysis in industry 4.0. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.07.001>
- Sarker, B., & Pan, H. (1998). Designing a mixed-model assembly line to minimize the costs of idle and utility times. *Computers and Industrial Engineering*, 609–628.
- Scholl, A., & Voss, S. (1997). Simple assembly line balancing - heuristic approaches. *Journal of Heuristics*, 217–244.
- Silva, E. S., & Queirós, M. (2013). *Gestão financeira - Análise de investimentos*. Vida Económica - Editorial, SA.
- Silva, P. P. (1999). Técnicas de Análise de investimentos: do VAL às Opções Reais. *Boletim de Ciências Económicas*, 120–120.
- Soares, I., Moreira, J., Pinho Carlos, & Couto João. (2008). *Decisões de investimento* (2nd ed.). Edições Sílabo.
- Thomas, M. J. W. (2012). A systematic review of the effectiveness of safety management systems. *Australian Transport Safety Bureau*, 148.
- Wang, S. (2019). *The Empirical Study on the Relationship between Corporate Social Responsibility Information Disclosure and Corporate Reputation*. <https://doi.org/10.25236/mfssr.2019.048>
- Zhang, X., & Liu, S. (2023). *The influence of work safety information disclosure on performance of listed companies in high-risk industries: Evidence from Shenzhen stock Exchange*. 9(10).
- Zohar, D. (1980). Safety climate in industrial organizations: Theoretical and applied implications. *J. Appl. Psychol.*, 65, 96–102.

Anexos

Anexo I

FMEA DO PROCESSO PRODUTIVO DE GUARDAS METÁLICAS

Preparação

PFMEA - Preparação (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Preparação	Desenho 2D e 3D	Falta de informação nos desenhos
		Desenhos incorretos (erros e incongruências)
	Listagem de materiais	Lista de materiais incompleta ou errada
	Orçamentação	Erro de orçamentação
	Concurso/Adjudicação	Erro no concurso
	Encomenda de matérias-primas	Encomenda tardia
		Engano na encomenda (quantidade ou conteúdo)
	Síntese de processos de fabrico	Escolha de processo desadequado
Gestão de ativos e equipas	Briefing pouco esclarecedor (tarefas mal definidas)	
	Briefing inexistente	

PFMEA - Preparação (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Falta de informação nos desenhos	Improdutividade	7	2	3	42
Desenhos incorretos (erros e incongruências)	Improdutividade / Desperdício de Recursos	8	6	5	240
Lista de materiais incompleta ou errada	Improdutividade / Desperdício de Recursos	2	6	3	36
Erro de orçamentação	Improdutividade	1	5	6	30
Erro no concurso	Crítico (impossibilita a concretização do contrato)	1	10	7	70
Encomenda tardia	Improdutividade	3	5	3	45
Engano na encomenda (quantidade ou conteúdo)	Improdutividade / Desperdício de Recursos	2	6	4	48
Escolha de processo desadequado	Improdutividade / Desperdício de Recursos	1	5	4	20
Briefing pouco esclarecedor (tarefas mal definidas)	Improdutividade / Deperdício de Tempo / Segurança	3	5	2	30
Briefing inexistente	Improdutividade / Deperdício de Tempo / Segurança	2	7	2	28

Descarregamento e Armazenamento

PFMEA - Descarregamento e Armazenamento (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Descarregamento e Armazenamento	Descarregar materiais - Ponte Rolante	Descarregamento atrasado
		Descarregamento lento
		Acidente de manuseamento
		Acidente de movimentação
	Acondicionar materiais	Armazenamento lento
		Armazenamento incorreto

PFMEA - Descarregamento e Armazenamento (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Descarregamento atrasado	Improdutividade	2	4	2	16
Descarregamento lento	Improdutividade	3	2	4	24
Acidente de manuseamento	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	8	8	64
Acidente de movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	9	8	72
Armazenamento lento	Improdutividade	4	2	4	32
Armazenamento incorreto	Improdutividade	2	4	4	32

Corte

PFMEA - Corte (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Corte	Movimentação de matérias-primas - Ponte Rolante	Movimentação lenta
		Falta de mão de obra auxiliar
		Acidente na movimentação
	Ajuste dos parâmetros do equipamento	Corte no formato errado
		Corte na dimensão errada
		Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
	Execução do corte	Ausência de operador (sem mão de obra para executar)
		Ausência de matéria-prima
		Corte em baixa cadência
		Operação de corte apressada
		Avaria de equipamento
		Acidente na operação de corte
	Acondicionamento de componentes cortados	Movimentação lenta
		Movimentação apressada
		Acidente na movimentação elementos cortados

PFMEA - Corte (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Movimentação lenta	Improdutividade	4	2	4	32
Falta de mão de obra auxiliar	Improdutividade	3	5	3	45
Acidente na movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	8	8	64
Corte no formato errado	Improdutividade / Desperdício de Recursos	4	5	5	100
Corte na dimensão errada	Improdutividade / Desperdício de Recursos	4	5	5	100
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	3	7	3	63
Ausência de matéria-prima	Improdutividade	3	6	3	54
Corte em baixa cadência	Improdutividade	6	3	4	72
Operação de corte apressada	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	5	3	45
Avaria de equipamento	Improdutividade	1	7	6	42
Acidente na operação de corte	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento / Segurança	4	3	3	36
Acidente na movimentação elementos cortados	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	6	7	126

Desempeno e Limagem.

1 - PFMEA - Desempeno e Limagem (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha	
Desempeno e Limagem	Movimentação de componentes cortados	Movimentação lenta	
		Movimentação apressada	
		Acidente na Movimentação	
	Desempeno	Operação de desempenho lenta	
		Não realização	
		Operação de desempenho apressada	
	Limagem	Acidente na operação	
		Operação de limagem lenta	
		Não realização	
	Movimentação de componentes pós operação	Operação apressada	
		Acidente na operação	
		Movimentação lenta	
			Movimentação apressada
			Acidente na Movimentação

PFMEA - Desempeno e Limagem (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento / Segurança	4	3	3	36
Acidente na movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	9	8	144
Operação de desempenho lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Não realização	Baixa Qualidade e Acabamento	4	6	5	120
Operação de desempenho apressada	Baixa Qualidade e Acabamento / Segurança	3	5	3	45
Acidente na operação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	8	8	192
Operação de limpeza lenta	Improdutividade	6	3	4	72
Não realização	Baixa Qualidade e Acabamento	4	6	5	120
Operação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	3	5	3	45
Acidente na operação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	8	8	128
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	4	3	3	36
Acidente na movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	8	8	128

Puncionamento e Escareamento

PFMEA - Puncionamento e Escareamento (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Puncionamento e Escareamento	Movimentação de componentes	Movimentação lenta
		Movimentação apressada
		Acidente de movimentação
	Ajuste dos parâmetros da Puncionadora	Puncionamento na posição errada
		Puncionamento na dimensão errada
	Execução do puncionamento	Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
		Ausência de operador (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de elementos a puncionar
		Puncionamento em baixa cadência
		Operação de puncionamento apressada / Mau acabamento
		Avaria de equipamento
	Ajuste dos parâmetros do Engenho de Furar	Acidente na operação
		Escareamento na dimensão errada
	Execução do Escareamento	Escareamento em baixa cadência
		Operação de escareamento apressada / Mau acabamento
		Avaria de equipamento
		Acidente na operação escareamento
	Acabamento	Não realização
		Operação apressada
	Movimentação de componentes pós operação	Movimentação lenta
Movimentação apressada		
Acidente na movimentação		

PFMEA - Puncionamento e Escareamento (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento / Segurança	4	3	3	36
Acidente de movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	9	8	144
Puncionamento na posição errada	Improdutividade / Desperdício de Recursos	4	5	5	100
Puncionamento na dimensão errada	Improdutividade / Desperdício de Recursos	4	5	5	100
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	3	7	3	63
Inexistência de elementos a puncionar	Improdutividade	3	6	3	54
Puncionamento em baixa cadência	Improdutividade	5	3	4	60
Operação de puncionamento apressada / Mau acabamento	Baixa Qualidade e Acabamento	3	5	3	45
Ávaria de equipamento	Improdutividade	1	8	6	48
Acidente na operação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Escareamento na dimensão errada	Improdutividade / Desperdício de Recursos	4	4	5	80
Escareamento em baixa cadência	Improdutividade	6	3	4	72
Operação de escareamento apressada / Mau acabamento	Baixa Qualidade e Acabamento	3	5	3	45
Ávaria de equipamento	Improdutividade	1	7	6	42
Acidente na operação escareamento	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Não realização	Baixa Qualidade e Acabamento	4	6	5	120
Operação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	3	3	3	27
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	4	3	3	36
Acidente na movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	9	8	72

Pré-Montagem

PFMEA - Pré-Montagem (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Pré-Montagem	Movimentação de componentes	Movimentação lenta
		Movimentação apressada
		Acidente na Movimentação
	Fabrico do molde	Soldadura no posição errada - Erro de fabrico
		Soldadura no posição errada - Erro de posicionamento
	Pré-montagem da estrutura e fixação	Acidente por queda - Erro de fixação
		Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
	Execução da soldadura pontual	Ausência de operador (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de elementos a unir
		Soldadura na quantidade errada
		Soldadura em baixa cadência
		Operação de soldadura pontual apressada
		Ávaria de equipamento
		Acidente na operação
		Não realização
		Operação de controlo apressada
	Controlo	Movimentação lenta
		Movimentação apressada
Acidente na movimentação		
Movimentação de componentes pós operação - Ponte Rolante	Movimentação lenta	
	Movimentação apressada	
	Acidente na movimentação	

PFMEA - Montagem (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento / Segurança	4	3	3	36
Acidente na movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	9	8	144
Soldadura no posição errada - Erro de fabrico	Improdutividade / Desperdício de Recursos	4	7	5	140
Soldadura no posição errada - Erro de posicionamento	Improdutividade / Desperdício de Recursos	4	5	5	100
Acidente por queda - Erro de fixação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	10	8	160
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	3	7	3	63
Inexistência de elementos a unir	Improdutividade	3	6	3	54
Soldadura na quantidade errada	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	4	5	5	100
Soldadura em baixa cadência	Improdutividade	6	3	4	72
Operação de soldadura pontual apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	3	5	3	45
Avaria de equipamento	Improdutividade	1	8	6	48
Acidente na operação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	10	8	160
Não realização	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	4	6	5	120
Operação de controlo apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	6	3	3	54
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	4	3	3	36
Acidente na movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80

Soldadura e Controlo

PFMEA - Soldadura e Controlo (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Soldadura e Controlo	Movimentação de componentes - PR	Movimentação lenta
		Movimentação apressada
		Acidente na movimentação
	Ajuste da pré-estrutura e fixação	Acidente por queda - Erro de fixação
		Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
	Execução da soldadura definitiva	Ausência de operador (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de estruturas a soldar
		Soldadura gera empeno
		Soldadura na quantidade errada
		Soldadura em baixa cadência
		Operação apressada
		Avaria de equipamento
		Acidente na operação
		Controlo (medição)
	Inexistência de controlo	
	Desempeno e Limagem	Operação apressada
		Inexistência de operação
	Movimentação de componentes pós operação - PR	Movimentação lenta
		Movimentação apressada (danos)
		Acidente na movimentação

PFMEA - Soldadura e Controlo (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento / Segurança	4	3	3	36
Acidente na movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	9	8	144
Acidente por queda - Erro de fixação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	10	8	160
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	3	7	3	63
Inexistência de estruturas a soldar	Improdutividade	3	6	3	54
Soldadura gera empeno	Baixa Qualidade e Acabamento	3	5	5	75
Soldadura na quantidade errada	Baixa Qualidade e Acabamento	4	5	5	100
Soldadura em baixa cadência	Improdutividade	6	3	4	72
Operação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	3	5	3	45
Avaria de equipamento	Improdutividade	1	8	6	48
Acidente na operação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Controlo apressado	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	4	4	5	80
Inexistência de controlo	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	6	4	72
Operação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	4	3	3	36
Inexistência de operação	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	6	4	72
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada (danos)	Baixa Qualidade e Acabamento / Segurança	4	3	3	36
Acidente na movimentação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80

Transporte entre pavilhões

PFMEA - Transporte (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Transporte (PES → PTS)	Movimentar produto em processamento	Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
		Ausência de operador (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de estruturas a transportar
		Movimentação lenta
		Movimentação apressada
		Acidente na movimentação de cargas
	Operar Porta-Paletes	Acondicionamento de carga deficiente
		Acidente na movimentação de cargas
	Carregamento (acondicionar carga no empilhador)	Acondicionamento de carga deficiente
	Manobrar e operar o Empilhador	Operações lentas
		Operações apressadas
		Avaria no empilhador
		Acidente no transporte
	Descarregamento	Operação lenta
		Operação apressada
Acidente no descarregamento de cargas		

PFMEA - Transporte (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	3	7	3	63
Inexistência de estruturas a transportar	Improdutividade	3	6	3	54
Movimentação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento / Segurança	4	5	3	60
Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Acondicionamento de carga deficiente	Segurança	3	6	5	90
Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Acondicionamento de carga deficiente	Segurança	3	6	5	90
Operações lentas	Improdutividade	4	3	4	48
Operações apressadas	Baixa Qualidade e Acabamento	4	5	3	60
Avaria no empilhador	Improdutividade	1	8	6	48
Acidente no transporte	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Operação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Operação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	4	3	3	36
Acidente no descarregamento de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80

Acondicionamento

PFMEA - Acondicionamento (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Acondicionamento	Preparação do espaço (Área comum)	Operações lentas
	Manobrar o Porta paletes	Operações lentas
		Acidente na movimentação de cargas
	Operações manuais	Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
		Ausência de operador (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de estruturas a transportar
		Operações de acondicionamento lentas
	Acondicionamento da carga	Acidente na movimentação de cargas
		Acondicionamento deficiente
		Operação lenta
		Operação apressada
		Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões

PFMEA - Acondicionamento (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Operações lentas	Improdutividade	5	2	4	40
Operações lentas	Improdutividade	5	2	4	40
Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	8	8	128
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	3	7	3	63
Inexistência de estruturas a transportar	Improdutividade	3	6	3	54
Operações de acondicionamento lentas	Improdutividade	8	3	4	96
Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Acondicionamento deficiente	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	6	5	90
Operação lenta	Improdutividade	5	2	4	40
Operação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	4	3	3	36
Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	8	8	192

Decapagem

PFMEA - Decapagem (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Decapagem	Recolha e movimentação de produto em processamento	Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
		Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de guardas a decapar
		Movimentação lenta
	Movimentação do carro	Acidente na movimentação de cargas
		Mau acondicionamento de carga
	Equipar EPIs	Equipamento deficiente/apressado
	Decapar	Decapagem incompleta/apressada
		Decapagem em baixa cadência
		Avaria de equipamento
		Acidente na Operação
	Movimentar produtos em processamento decapados	Movimentação lenta
		Movimentação apressada
		Acidente na movimentação de cargas
Acondicionar	Mau acondicionamento	
	Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	

PFMEA - Decapagem (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	5	7	3	105
Inexistência de guardas a decapar	Improdutividade	3	6	3	54
Movimentação lenta	Improdutividade	8	3	4	96
Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	9	8	72
Mau acondicionamento de carga	Segurança	3	6	5	90
Equipamento deficiente/apressado	Segurança	2	10	5	100
Decapagem incompleta/apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	5	5	3	75
Decapagem em baixa cadência	Improdutividade	5	3	4	60
Avaria de equipamento	Improdutividade	5	8	6	240
Acidente na Operação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Movimentação lenta	Improdutividade	8	3	4	96
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	2	3	3	18
Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Mau acondicionamento	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	6	5	90
Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	8	8	192

Metalização

PFMEA - Metalização (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Metalização	Recolha e movimentação de produto em processamento	Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
		Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de guardas a decapar
		Movimentação lenta
	Equipar EPIs	Acidente - Apertos e Entalões
		Equipamento deficiente/apressado
	Metalizar	Metalização incompleta/apressada
		Metalização em baixa cadência
		Avaria de equipamento
		Acidente na Operação de Metalização
	Movimentar ativos metalizados	Movimentação lenta
		Movimentação apressada
		Acidente na movimentação
	Acondicionar	Mau acondicionamento
Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões		

PFMEA - Metalização (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	5	7	3	105
Inexistência de guardas a decapar	Improdutividade	3	6	3	54
Movimentação lenta	Improdutividade	8	3	4	96
Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	9	8	72
Mau acondicionamento de carga	Segurança	3	6	5	90
Equipamento deficiente/apressado	Segurança	2	10	5	100
Decapagem incompleta/apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	5	5	3	75
Decapagem em baixa cadência	Improdutividade	5	3	4	60
Avaria de equipamento	Improdutividade	5	8	6	240
Acidente na Operação	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Movimentação lenta	Improdutividade	8	3	4	96
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	2	3	3	18
Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Mau acondicionamento	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	6	5	90
Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	8	8	192

Aplicação de Primário

PFMEA - Aplicação de Primário (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Aplicação de Primário	Recolha e movimentação de produto em processamento	Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
		Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de guardas a trabalhar
		Movimentação lenta
		Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões
	Equipar EPIs	Equipamento deficiente/apressado
		Pintura incompleta/apressada
	Aplicar Primário	Pintura em baixa cadência
		Avaria de equipamento
		Acidente na Operação de Aplicação de Primário
	Movimentar produtos em processamento pintados	Movimentação lenta
		Acidente na movimentação
	Acondicionar	Mau acondicionamento
		Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões

PFMEA - Aplicação de Primário (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	5	7	3	105
Inexistência de guardas a decapar	Improdutividade	3	6	3	54
Movimentação lenta	Improdutividade	8	2	4	64
Acidente - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	8	8	192
Equipamento deficiente/apressado	Segurança	3	10	5	150
Metalização incompleta/apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	5	5	3	75
Metalização em baixa cadência	Improdutividade	5	3	4	60
Avaria de equipamento	Improdutividade	2	8	6	96
Acidente na Operação de Metalização	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Movimentação lenta	Improdutividade	8	2	4	64
Movimentação apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	5	3	3	45
Acidente na movimentação	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	1	10	8	80
Mau acondicionamento	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	6	5	90
Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	8	8	192

Pintura

PFMEA - Pintura (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Pintura	Recolha e movimentação de produto em processamento	Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
		Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de guardas a pintar
		Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões
		Movimentação lenta
	Equipar EPIs	Equipamento deficiente/apressado
	Pintar	Pintura incompleta/apressada
		Pintura em baixa cadência
		Avaria de equipamento
		Acidente na Operação de Pintura
	Movimentar produtos em processamento pintados	Movimentação lenta
	Acondicionar	Acidente no Transporte
		Mau acondicionamento
Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões		

PFMEA - Pintura (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	5	7	3	105
Inexistência de guardas a pintar	Improdutividade	3	6	3	54
Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	8	8	192
Movimentação lenta	Improdutividade	8	2	4	64
Equipamento deficiente/apressado	Segurança	2	10	5	100
Pintura incompleta/apressada	Baixa Qualidade e Acabamento	5	5	3	75
Pintura em baixa cadência	Improdutividade	5	3	4	60
Avaria de equipamento	Improdutividade	1	8	6	48
Acidente na Operação de Pintura	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Movimentação lenta	Improdutividade	8	2	4	64
Acidente no Transporte	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Mau acondicionamento	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	6	5	90
Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	8	8	192

Acondicionamento de Carga e Transporte Final

PFMEA - Acondicionamento e Transporte Final (parte 01).

Etapa	Operações	Modo de Falha
Acondicionamento e Transporte Final	Movimentar guardas acabadas	Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)
		Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)
		Inexistência de estruturas a transportar
		Operações lentas
		Operações apressadas
	Carregamento (acondicionar carga)	Acondicionamento de carga deficiente
		Operações lentas
		Operações apressadas
	Manobrar e Operar Empilhador	Avaria no empilhador
		Acidente na movimentação de cargas
	Acondicionar carga no caminhão	Acondicionamento de carga deficiente
		Operações apressadas
		Operações lentas
		Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões
		Acidentes de Operação de Empilhador
Transporte final	Avaria no caminhão	
	Acidente no transporte	

PFMEA - Acondicionamento e Transporte Final (parte 02).

Modo de Falha	Efeito	O	S	D	RPN
Ausência de ordens de trabalho (equipamento parado)	Improdutividade	2	7	4	56
Ausência de operador/auxiliar (sem mão de obra para executar)	Improdutividade	3	7	3	63
Inexistência de estruturas a transportar	Improdutividade	3	6	3	54
Operações lentas	Improdutividade	5	2	4	40
Operações apressadas	Baixa Qualidade e Acabamento	5	5	3	75
Acondicionamento de carga deficiente	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	7	5	105
Operações lentas	Improdutividade	3	3	4	36
Operações apressadas	Baixa Qualidade e Acabamento	4	5	3	60
Avaria no empilhador	Improdutividade	1	10	6	60
Acidente na movimentação de cargas	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	8	80
Acondicionamento de carga deficiente	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	3	7	5	105
Operações apressadas	Segurança / Baixa Qualidade e Acabamento	6	3	3	54
Operações lentas	Improdutividade	4	2	4	32
Acidentes Ligeiros - Apertos e Entalões	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	3	7	8	168
Acidentes de Operação de Empilhador	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	2	10	9	180
Avaria no caminhão	Improdutividade	2	8	6	96
Acidente no transporte	Improdutividade / Desperdício de Recursos / Segurança	1	10	9	90

Anexo II

EXERCÍCIO DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA KANBAN

Dimensionamento de contentores por estação Kanban

Sistema de Kanban A – Cliente & Transporte

Exigência diária ao Sistema de Kanban A.

Descrição do Elemento	Dimensões [mm]	Exigência Diária
Guarda Finalizada	[3100x1000x70]	14 un.

Quadro resumo das variáveis a trabalhar no cálculo da capacidade do Sistema de Kanban A.

Variável	Passo Intermédio	Valor
D	14 un./8h	1,75 un./h
T	480 min	8 h
α	1/14	0,0714
C	14 un.	14 un.

Substituindo os valores determinados na equação (6.1) temos que:

$$N_c = \frac{1,75 \times 8 \times (1 + 0,0714)}{14} = 1,0714 \rightarrow 2 \text{ Contentores} \quad (6.1)$$

Resultado do dimensionamento:

Quadro resumo das referências da Estação Kanban A.

Estação Kanban	Etiqueta (Referência Kanban)	Quantidade de Contentores	Capacidade do Contentor
A	Transporte 01	2	14 un.

Sistemas de Kanban B, C, D, E, F, G

Exigência diária ao Sistema de Kanban B, C, D, E, F e G.

Descrição do Elemento	Dimensões [mm]	Exigência Diária
Guarda c/Acabamento	[3100x1000x70]	14 un.
Guarda c/Primário	[3100x1000x70]	14 un.
Guarda Metalizada	[3100x1000x70]	14 un.
Guarda Decapada	[3100x1000x70]	14 un.
Guarda Movimentada	[3100x1000x70]	14 un.
Guarda Soldada	[3100x1000x70]	14 un.

Quadro resumo das variáveis a trabalhar no cálculo da capacidade do Sistema de Kanban B, C, D, E, F e G.

Variável	Passo Intermédio	Valor
D	14 un./8h	1,75 un./h
T	5 x 34,29 = 171,45 min	2,85 h
α	5/14	0,3571
C	5 un.	5 un.

Substituindo os valores determinados na equação (6.1) temos que:

$$N_c = \frac{1,75 \times 2,85 \times (1 + 0,3571)}{5} = 1,3537 \rightarrow 2 \text{ Contentores} \quad (6.1)$$

Resultado do dimensionamento:

Quadro resumo das referências da Estação Kanban B, C, D, E, F e G..

Estação Kanban	Etiqueta (Referência Kanban)	Quantidade de Contentores	Capacidade do Contentor
B	Pintura - Acabamento 01	2	5 un.
C	Pintura - Primário 01	2	5 un.
D	Metalização 01	2	5 un.
E	Decapagem 01	2	5 un.
F	Movimentação 01	2	5 un.
G	Soldadura 01	2	5 un.

Sistema de Kanban H – Soldadura & Pré-Montagem

Exigência diária ao Sistema de Kanban H.

Descrição do Elemento	Dimensões [mm]	Exigência Diária
Guarda Pré-Montada	[3100x1000x70]	14 un.

Quadro resumo das variáveis a trabalhar no cálculo da capacidade do Sistema de Kanban H.

Variável	Passo Intermédio	Valor
D	14 un./8h	1,75 un./h
T	34,29 min	0,5715 h
α	1/14	0,0714
C	1 un.	1 un.

Substituindo os valores determinados na equação (6.1) temos que:

$$N_c = \frac{1,75 \times 0,5715 \times (1 + 0,0714)}{1} = 1,071 \rightarrow 2 \text{ Contentores} \quad (6.1)$$

Resultado do dimensionamento:

Quadro resumo das referências da Estação Kanban H.

Estação Kanban	Etiqueta (Referência Kanban)	Quantidade de Contentores	Capacidade do Contentor
H	Pré-Montagem 01	2	1 un.

Sistema de Kanban I – Puncionamento & Pré-Montagem

Exigência diária ao Sistema de Kanban I.

Descrição do Elemento	Dimensões [mm]	Exigência Diária
Barra A	[3100x70x10]	14 un.
Barra C	[940x70x10]	28 un.
Barra D	[150x70x10]	28 un.
Barra E	[250x70x10]	28 un.

Quadro resumo das variáveis a trabalhar no cálculo da capacidade do Sistema de Kanban I.

Variável	Passo Intermédio	Valor
D	98 un./8h	12,25 un./h
T	34,29 min	0,5715 h
α	7/98	0,0714
C	4 un.	4 un.

Substituindo os valores determinados na equação (6.1) temos que:

$$N_c = \frac{12,25 \times 0,5715 \times (1 + 0,0714)}{4} = 1,875 \rightarrow 2 \text{ Contentores} \quad (6.1)$$

Resultado do dimensionamento:

Quadro resumo das referências da Estação Kanban I.

Estação Kanban	Etiqueta (Referência Kanban)	Quantidade de Contentores	Capacidade do Contentor
I	Punc e Esca 01	2	4 un.
	Punc e Esca 02	2	4 un.
	Punc e Esca 03	2	4 un.
	Punc e Esca 04	2	4 un.

Sistema de Kanban J – Desempeno e Limagem & Pré-Montagem

Exigência diária ao Sistema de Kanban J.

Descrição do Elemento	Dimensões [mm]	Exigência Diária
Barra B	[3000x50x10]	14 un.
Varão	[Ø10x920]	392 un.

Quadro resumo das variáveis a trabalhar no cálculo da capacidade do Sistema de Kanban J.

Variável	Passo Intermédio	Valor
D	406 un./8h	50,75 un./h
T	34,29 min	0,5715 h
α	29/406	0,0714
C	16un.	16 un.

Substituindo os valores determinados na equação (6.1) temos que:

$$N_c = \frac{50,75 \times 0,5715 \times (1 + 0,0714)}{16} = 1,94 \rightarrow 2 \text{ Contentores} \quad (6.1)$$

Resultado do dimensionamento:

Quadro resumo das referências da Estação Kanban J.

Estação Kanban	Etiqueta (Referência Kanban)	Quantidade de Contentores	Capacidade do Contentor
J	Desem e Lima 01	2	16 un.
	Desem e Lima 02	2	16 un.

Sistema de Kanban K – Desempeno e Limagem & Puncionamento

Exigência diária ao Sistema de Kanban K.

Descrição do Elemento	Dimensões [mm]	Exigência Diária
Barra A	[3100x70x10]	14 un.
Barra C	[940x70x10]	28 un.
Barra D	[150x70x10]	28 un.
Barra E	[250x70x10]	28 un.

Quadro resumo das variáveis a trabalhar no cálculo da capacidade do Sistema de Kanban K.

Variável	Passo Intermédio	Valor
D	98 un./8h	12,25 un./h
T	34,29 min	0,5715 h
α	7/98	0,0714
C	4un.	4 un.

Substituindo os valores determinados na equação (6.1) temos que:

$$N_c = \frac{12,25 \times 0,5715 \times (1 + 0,0714)}{4} = 1,875 \rightarrow 2 \text{ Contentores} \quad (6.1)$$

Resultado do dimensionamento:

Quadro resumo das referências da Estação Kanban K.

Estação Kanban	Etiqueta (Referência Kanban)	Quantidade de Contentores	Capacidade do Contentor
K	Desem e Lima 03	4	2 un.
	Desem e Lima 04	4	2 un.
	Desem e Lima 05	4	2 un.
	Desem e Lima 06	4	2 un.

Sistema de Kanban L – Corte & Desempeno e Limagem

Exigência diária ao Sistema de Kanban L.

Descrição do Elemento	Dimensões [mm]	Exigência Diária
Barra A	[3100x70x10]	14 un.
Barra B	[3000x50x10]	14 un.
Barra C	[940x70x10]	28 un.
Barra D	[150x70x10]	28 un.
Barra E	[250x70x10]	28 un.
Varão	[Ø10x920]	14 un.

Quadro resumo das variáveis a trabalhar no cálculo da capacidade do Sistema de Kanban L.

Variável	Passo Intermédio	Valor
D	504un./8h	63 un./h
T	34,29 min	0,5715 h
α	36/504	0,0714
C	20 un.	20 un.

Substituindo os valores determinados na equação (6.1) temos que:

$$N_c = \frac{63 \times 0,5715 \times (1 + 0,0714)}{20} = 1,929 \rightarrow 2 \text{ Contentores} \quad (6.1)$$

Resultado do dimensionamento:

Quadro resumo das referências da Estação Kanban L.

Estação Kanban	Etiqueta (Referência Kanban)	Quantidade de Contentores	Capacidade do Contentor
L	Corte 01	2	20 un.
	Corte 02	2	20 un.
	Corte 03	2	20 un.
	Corte 04	2	20 un.
	Corte 05	2	20 un.
	Corte 06	2	20 un.

Sistema de Kanban M – Armazenamento & Corte

Exigência diária ao Sistema de Kanban M.

Descrição do Elemento	Dimensões [mm]	Exigência Diária
Barra Chata 70x10	[6000x50x10]	21 un.
Varão Ø10	[Ø10x6000]	61 un.

Quadro resumo das variáveis a trabalhar no cálculo da capacidade do Sistema de Kanban M.

Variável	Passo Intermédio	Valor
D	82un./8h	10,25 un./h
T	34,29 min	0,5715 h
a	6/82	0,0731
C	4 un.	4 un.

Substituindo os valores determinados na equação (6.1) temos que:

$$N_c = \frac{10,25 \times 0,5715 \times (1 + 0,0731)}{4} = 1,5715 \rightarrow 2 \text{ Contentores} \quad (6.1)$$

Resultado do dimensionamento:

Quadro resumo das referências da Estação Kanban M.

Estação Kanban	Etiqueta (Referência Kanban)	Quantidade de Contentores	Capacidade do Contentor
M	Alimentação 01	2	4 un.
	Alimentação 02	2	4 un.

Anexo III

ARENA - MODELO DE SIMULAÇÃO TRABALHADO

