



**NOVA**  
NOVA SCHOOL OF  
SCIENCE & TECHNOLOGY

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
E INDUSTRIAL**

Constança Lourinho Isidro Monteiro Fernandes  
Licenciada em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**APLICAÇÃO DOS *THINKING PROCESSES* DA  
TEORIA DAS RESTRIÇÕES À MELHORIA DO  
DESEMPENHO GLOBAL DE EQUIPAMENTOS (OEE)**

Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL**

Universidade NOVA de Lisboa  
Novembro, 2021





# APLICAÇÃO DOS *THINKING PROCESSES* DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES À MELHORIA DO DESEMPENHO GLOBAL DE EQUIPAMENTOS (OEE)

CONSTANÇA LOURINHO ISIDRO MONTEIRO FERNANDES  
Licenciada em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

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

## **Júri:**

**Presidente:** Professora Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos,  
Associada da Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade NOVA de Lisboa

**Arguentes:** Doutor Diego Augusto de Jesus Pacheco,  
Associado da AARHUS University / Aarhus Business  
School (BBS);  
Mestre Luís Miguel Mateus Cristóvão,  
Consultor de Gestão da Goldratt Consulting

**Vogais:** Professora Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Ten-  
era,  
Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e  
Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa  
Novembro, 2021



**Aplicação dos *Thinking Processes* da Teoria das Restrições à Melhoria do Desempenho Global de Equipamentos (OEE)**

Copyright © Constança Lourinho Isidro Monteiro Fernandes, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

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



*Ao meu Pai,  
que me inspira.*



## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, a Professora Alexandra Tenera pelo rigor, exigência e disponibilidade com que sempre acompanhou todas as etapas do meu trabalho.

À *Nobre Alimentação Lda.*, a todos os colaboradores pela sua disponibilidade e simpatia, em especial ao meu orientador, Luís Neto, e à Eng.<sup>a</sup> Rita Silva que me acompanharam durante todo o estágio com imensa generosidade na partilha dos seus conhecimentos e experiência profissional.

Aos meus pais e ao meu irmão, pela força, colaboração, apoio incondicional e conselhos preciosos. Com a confiança que sempre depositaram em mim, foi possível acreditar nas minhas capacidades e perseverança.

Ao João, pela paciência e carinho fazendo com que os dias mais difíceis de insegurança e hesitação se transformassem em dias de força e esperança.

E a todos os meus amigos que sempre me apoiaram tanto a nível académico como pessoal.



*“Para ser grande, sê inteiro: nada  
Teu exagera ou exclui.  
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és  
No mínimo que fazes.  
Assim em cada lago a lua toda  
Brilha, porque alta vive.”*

*(Ricardo Reis)*



## RESUMO

A indústria alimentar constitui um dos setores mais importantes da economia mundial e enfrenta vários desafios que forçam as organizações do setor a melhorar a eficiência dos seus processos, tanto organizacionais como produtivos, e as suas estratégias de qualidade para se manterem competitivas. Neste contexto, a melhoria contínua torna-se crítica e muito valiosa, garantindo a qualidade e a oferta de produtos seguros e competitivos a clientes exigentes, mas também o crescimento sustentável e a estabilidade das organizações.

A Teoria das Restrições (TOC), destacada como uma das abordagens de melhoria contínua mais difundidas, é considerada uma poderosa metodologia que se concentra na identificação, melhoria e gestão do desempenho das restrições de um Sistema, numa perspetiva de alcançar a melhoria do desempenho global do mesmo. Com as suas ferramentas de suporte ao processo de reflexão *Thinking Processes* (TP), a TOC apresenta uma abordagem eficaz e sistémica de estruturação e resolução de problemas, orientando a melhoria contínua e a gestão da mudança, através da construção de diagramas lógicos.

O principal objetivo da presente dissertação é a aplicação dos *Thinking Processes* da TOC (TOC-TP) à *Melhoria do Desempenho Global de Equipamentos (OEE)* de uma linha de produção. O Caso de Estudo foi desenvolvido numa Empresa portuguesa cujo negócio é a produção e venda de produtos de origem animal.

A metodologia proposta baseou-se nos “Cinco Passos de Focalização” da Teoria das Restrições para estabelecer um ciclo de melhoria da linha de produção em estudo, a partir da resposta às questões fundamentais da gestão da mudança: “*Porquê mudar?*”, “*O que mudar?*”, “*Mudar para o quê?*”, “*Como causar a mudança?*” e “*Como medir e sustentar a mudança e alcançar o POOGI?*”. Através da aplicação da TOC-TP foi possível analisar em detalhe a linha de produção, identificar as principais restrições que a inibiam de alcançar um melhor desempenho, desenvolver propostas de melhoria e um plano de implementação detalhado - incluindo a sua programação por recurso à *Critical Chain Project Management* (CCPM) pertencente à *toolbox* da TOC para a gestão do projeto de ações de melhoria a implementar.

Deste exercício resultou um conhecimento profundo da linha de produção que contribuiu para a exposição das fragilidades da mesma e conseqüente identificação de novas oportunidades de melhoria, e também a projeção da melhoria do OEE em sete pontos percentuais.

**Palavras chave:** Desempenho Global do Equipamento (OEE), Melhoria Contínua, Teoria das Restrições (TOC), *Thinking Processes* (TP)



## ABSTRACT

Food industry is one of the most important sectors of the world's economy and faces several challenges which force the sector's organizations to improve their processes' efficiencies, both organisational and productive, and their quality strategies as to remain competitive. Accordingly, continuous improvement becomes critical and very much valuable guaranteeing quality, offering safe and competitive products to demanding customers, and ensuring the sustainable growth and stability of organizations.

Theory of Constraints (TOC), a distinguished continuous improvement approach, is considered a powerful methodology which focuses on the identification of a System's constraints and its improvement and management to achieve the System's maximum potential. With the Thinking Processes (TP), TOC presents an effective and systemic approach to problem structuring and solving, guiding continuous improvement and change management through logical diagrams.

The main objective of this dissertation is the application of the TOC Thinking Processes (TOC-TP) to the Overall Equipment Effectiveness (OEE) of a production line. The case study was developed at a company whose core business is the production and sale of animal produces.

The proposed methodology was based on Goldratt's "Five Fundamental Steps" process to establish the continuous improvement of the production line whilst answering the basic questions of change: "*Why change?*", "*What to change?*", "*What to change to?*", "*How to cause the change?*" and "*How to measure and sustain change and achieve POOGI?*". Through the application of the TOC-TP it was possible to analyse the System in detail, identify its main constraints which prevented it from achieving its maximum potential. Also, improvement suggestions were identified along with a detailed implementation plan including its programming using the Critical Chain Project Management (CCPM) from the TOC "toolbox" to manage the project of improvement actions.

This investigation resulted in an in-depth knowledge of the production line in analysis which contributed to the exposure its weakness and the resulting identification of new improvement opportunities and a forecast for an OEE improvement in seven percentage points.

**Keywords:** Continuous Improvement, Overall Equipment Effectiveness (OEE), Theory of Constraints (TOC), Thinking Processes (TP)



# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO .....	IX
ABSTRACT .....	XI
ÍNDICE .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XV
ÍNDICE DE TABELAS.....	XVII
SIGLAS .....	XIX
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	2
1.3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO.....	3
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	4
<b>2. MELHORIA CONTÍNUA MEDIANTE OS <i>THINKING PROCESSES</i> DA TOC.....</b>	<b>5</b>
2.1. MELHORIA CONTÍNUA NA INDÚSTRIA ALIMENTAR.....	5
2.1.1. <i>Manutenção Produtiva Total (TPM)</i> .....	10
2.1.2. <i>Desempenho Global de Equipamentos (OEE)</i> .....	11
2.2. TEORIA DAS RESTRIÇÕES .....	15
2.2.1. <i>Thinking Processes da Teoria das Restrições</i> .....	24
2.2.1.1. Árvore de Objetivos (GT).....	33
2.2.1.2. Árvore da Realidade Atual (CRT).....	34
2.2.1.3. Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD).....	37
2.2.1.4. Árvore da Realidade Futura (FRT).....	39
2.2.1.5. Árvore de Pré-requisitos (PRT).....	41
2.2.1.6. Árvore de Transição (TT).....	42
2.2.1.7. Árvore Estratégia & Tática (STT).....	44
2.2.2. <i>A Cadeia Crítica</i> .....	47
2.2.2.1. Duração das Atividades de Projeto.....	48
2.2.2.2. Calendarização CCPM .....	49
2.2.2.3. Dimensionamento de Reservas.....	49
<b>3. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>51</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO - NOBRE ALIMENTAÇÃO LDA.....	51
3.1.1. <i>Caracterização da Fábrica</i> .....	54

3.2.	ÁREA DE PRODUÇÃO EM ESTUDO .....	54
3.2.1.	Caracterização da Linha em Estudo .....	56
	Produtos Fabricados.....	56
	Processo Produtivo.....	56
	Embaladora.....	59
3.2.2.	Desempenho Global da Linha em Estudo .....	60
<b>4.</b>	<b>PROPOSTA METODOLÓGICA DO CASO DE ESTUDO: TOC-TP E CCPM .....</b>	<b>63</b>
4.1.	DETERMINAÇÃO DO OBJETO DE INVESTIGAÇÃO (1ª FASE) .....	63
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EM ESTUDO (2ª FASE).....	63
4.3.	DEFINIÇÃO DOS LIMITES E ENQUADRAMENTO DO SISTEMA (3ª FASE) .....	64
4.4.	APLICAÇÃO DOS <i>THINKING PROCESSES</i> (4ª FASE).....	64
4.5.	PLANEAMENTO DAS AÇÕES DE MELHORIA: CCPM (5ª FASE) .....	68
<b>5.</b>	<b>APLICAÇÃO DA TOC-TP À MELHORIA DO OEE.....</b>	<b>71</b>
5.1.	ÁRVORE DE OBJETIVOS (GT) .....	71
5.2.	ÁRVORE DA REALIDADE ATUAL (CRT) .....	74
5.3.	DIAGRAMA DE RESOLUÇÃO DE CONFLITOS (CRD) .....	82
5.3.1.	Diagrama de Resolução de Conflitos para a CRC 162 .....	82
5.3.2.	Diagrama de Resolução de Conflitos para a CRC 124 .....	84
5.4.	RESERVAS DE RAMOS NEGATIVOS (NBR) .....	88
5.4.1.	NBR para a Injeção 128c .....	88
5.4.2.	NBR para a Injeção IA2.....	90
5.5.	ÁRVORE DA REALIDADE FUTURA (FRT) .....	91
5.6.	ÁRVORE DE PRÉ-REQUISITOS (PRT) .....	97
5.7.	ÁRVORE DE ESTRATÉGIA & TÁTICA (STT) .....	101
5.8.	PLANEAMENTO DAS AÇÕES DE MELHORIA: CCPM .....	105
5.8.1.	Projeção do Impacto do Projeto de Formação no OEE .....	110
5.9.	SÍNTESE GLOBAL DOS RESULTADOS .....	112
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>117</b>
6.1.	CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES E LIMITAÇÕES.....	117
6.1.1.	Contribuições para a Empresa.....	119
6.1.2.	Contribuições para a Comunidade Científica .....	120
6.1.3.	Limitações do Estudo .....	120
6.2.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	121
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>123</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>131</b>
<b>A.</b>	<b>OS CINCO PASSOS DE FOCALIZAÇÃO DE GOLDRATT .....</b>	<b>131</b>
<b>B.</b>	<b>SIMBOLOGIA E CONCEITOS BÁSICOS DA TOC-TP .....</b>	<b>132</b>
<b>C.</b>	<b>CONSTRUÇÃO DOS DIAGRAMAS LÓGICOS TOC-TP .....</b>	<b>133</b>
<b>D.</b>	<b>APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>138</b>
<b>E.</b>	<b>CASO DE ESTUDO - APLICAÇÃO DA TOC-TP .....</b>	<b>141</b>
<b>F.</b>	<b>PLANEAMENTO DAS AÇÕES DE MELHORIA.....</b>	<b>145</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ESQUEMA DA METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO .....	3
FIGURA 2.1 ESTRUTURA BASE DE DECOMPOSIÇÃO DO OEE .....	12
FIGURA 2.2 AS ERAS DA EVOLUÇÃO DA TOC .....	16
FIGURA 2.3 QUADRO SÍNTESE DAS COMPONENTES DA TOC.....	17
FIGURA 2.4 POOGL.....	20
FIGURA 2.5 AS (TRÊS) PRINCIPAIS CAMADAS DE RESISTÊNCIA À MUDANÇA.....	23
FIGURA 2.6 OS 9 NÍVEIS DE RESISTÊNCIA E A SUA RELAÇÃO COM OS TP E AS QUESTÕES FUNDAMENTAIS .....	24
FIGURA 2.7 FRAMEWORK DA APLICAÇÃO DA TOC-TP .....	25
FIGURA 2.8 RELAÇÕES CAUSA-EFEITO (LÓGICA DE SUFICIÊNCIA) .....	30
FIGURA 2.9 RELAÇÃO CAUSA-EFEITO (LÓGICA DE CONDIÇÃO NECESSÁRIA) .....	30
FIGURA 2.10 AS OITO REGRAS LÓGICAS DAS CATEGORIAS DE RESERVA LEGÍTIMA.....	31
FIGURA 2.11 LIMITES DE UM SISTEMA.....	32
FIGURA 2.12 SÍNTESE DAS FERRAMENTAS LÓGICAS TOC-TP.....	33
FIGURA 2.13 ESTRUTURA DA ÁRVORE DE OBJETIVOS (GT).....	33
FIGURA 2.14 IDENTIFICAÇÃO DO CORE PROBLEM NA CRT.....	36
FIGURA 2.15 IDENTIFICAÇÃO DE CRCs NA CRT .....	36
FIGURA 2.16 ESTRUTURA DO CRD.....	38
FIGURA 2.17 ESTRUTURA DA NBR.....	40
FIGURA 2.18 RELAÇÃO ENTRE A PRT E A TT .....	43
FIGURA 2.19 ESTRUTURA DA STT .....	46
FIGURA 2.20 CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DA DURAÇÃO DE ATIVIDADES DE PROJETO .....	48
FIGURA 3.1 ORGANIGRAMA DA EMPRESA NOBRE ALIMENTAÇÃO LDA. ....	52
FIGURA 3.2 LAYOUT DA ÁREA DOS FATIADOS .....	55
FIGURA 3.3 FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DA LINHA 5 .....	58
FIGURA 3.4 REPRESENTAÇÃO DO IMPACTO DE CADA INDICADOR NAS PERDAS DE OEE .....	62
FIGURA 4.1 METODOLOGIA PROPOSTA - CONSTRUÇÃO DA GT E DA CRT .....	65
FIGURA 4.2 METODOLOGIA PROPOSTA - CONSTRUÇÃO DO CRD E DO NBR.....	66
FIGURA 4.3 METODOLOGIA PROPOSTA - CONSTRUÇÃO DA FRT E DA PRT.....	67
FIGURA 4.4 METODOLOGIA PROPOSTA: CONSTRUÇÃO DA SST E CCPM.....	69
FIGURA 5.1 DEFINIÇÃO DOS LIMITES DO SISTEMA .....	72
FIGURA 5.2 ÁRVORE DE OBJETIVOS FINAL PARA MELHORAR O OEE DA LINHA 5.....	72
FIGURA 5.3 ÁRVORE DE OBJETIVOS FINAL COM OS UDE .....	73

FIGURA 5.4 EXEMPLO DE UMA RELAÇÃO MAG NA CRT .....	75
FIGURA 5.5 EXEMPLO DO SÍMBOLO ELIPSE NA CRT .....	75
FIGURA 5.6 ÁRVORE DA REALIDADE ATUAL (1) .....	76
FIGURA 5.7 ÁRVORE DA REALIDADE ATUAL (2) .....	77
FIGURA 5.8 ÁRVORE DA REALIDADE ATUAL (3) .....	78
FIGURA 5.9 CRT SIMPLIFICADA SEM CAUSAS INTERMÉDIAS .....	79
FIGURA 5.10 CRD PARA A CRC 162 .....	82
FIGURA 5.11 CRD PARA A CRC 124 .....	84
FIGURA 5.12 MATRIZ DE EXEQUIBILIDADE E RESPECTIVOS ÍNDICES DE DIFICULDADE E EFICÁCIA .....	86
FIGURA 5.13 EFEITOS NEGATIVOS E POSITIVOS DA INJEÇÃO I128C .....	88
FIGURA 5.14 ELIMINAÇÃO DOS EFEITOS NEGATIVOS PRODUZIDOS PELA INJEÇÃO I128C .....	89
FIGURA 5.15 ELIMINAÇÃO DOS EFEITOS NEGATIVOS PRODUZIDOS PELA INJEÇÃO IA2 .....	90
FIGURA 5.16 FRT SIMPLIFICADA COM AS INJEÇÕES PARA A ELIMINAÇÃO DAS "PRINCIPAIS" CRC .....	92
FIGURA 5.17 ÁRVORE DA REALIDADE FUTURA (1) .....	94
FIGURA 5.18 ÁRVORE DA REALIDADE FUTURA (2) .....	95
FIGURA 5.19 ÁRVORE DA REALIDADE FUTURA (3) .....	96
FIGURA 5.20 PRT FINAL .....	100
FIGURA 5.21 STT APLICADA À MELHORIA DO OEE DA LINHA 5 .....	101
FIGURA 5.22 REDE DE ATIVIDADES DO PROJETO DE FORMAÇÃO .....	105
FIGURA 5.23 DIAGRAMA DE GANTT DA CALENDARIZAÇÃO DO PROJETO DE FORMAÇÃO (COM RESERVA DE ALIMENTAÇÃO) .....	106
FIGURA 5.24 DIAGRAMA DE GANTT DO PROJETO DE FORMAÇÃO SEM RESERVA DE ALIMENTAÇÃO .....	107
FIGURA 5.25 MATRIZ ESFORÇO-BENEFÍCIO .....	108
FIGURA 5.26 GT: IMPACTO DA ELIMINAÇÃO DO UDE 1.6 NO OEE .....	110
FIGURA A. 1 FLUXOGRAMA ILUSTRATIVO DO PROCESSO DOS CINCO PASSOS DE FOCALIZAÇÃO .....	131
FIGURA B. 1 SÍMBOLOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DOS DIAGRAMAS LÓGICOS .....	132
FIGURA D. 1 DESENHO EM CAD DA FATIADORA DA LINHA 5 .....	138
FIGURA D. 2 DESENHO EM CAD DA EMBALADORA DA LINHA 5 .....	139
FIGURA D. 3 PRINCIPAIS PERDAS DA LINHA 5 RELATIVAS À DISPONIBILIDADE .....	140
FIGURA D. 4 PRINCIPAIS PERDAS DA LINHA 5 RELATIVAS AO DESEMPENHO .....	140
FIGURA D. 5 PRINCIPAIS PERDAS DA LINHA 5 RELATIVAS À QUALIDADE .....	140
FIGURA E. 1 EFEITOS NEGATIVOS E POSITIVOS DA INJEÇÃO IA2 .....	141
FIGURA E. 2 ÁRVORE DE OBJETIVOS DO SISTEMA E A SUA RELAÇÃO COM OS DÊS .....	142
FIGURA E. 3 PRT+TT INICIAL .....	143
FIGURA E. 4 MATRIZ DE RESPONSABILIDADES .....	144
FIGURA F. 1 JANELA DE VISUALIZAÇÃO DO SOFTWARE PROCHAIN DA CALENDARIZAÇÃO DO PROJETO DE FORMAÇÃO .....	145
FIGURA F. 2 EXEMPLOS DE OPLS .....	145

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 SÍNTESE DAS ABORDAGENS LEAN, SEIS SIGMA E TOC .....	7
TABELA 2.2 ARTIGOS RELATIVOS À APLICAÇÃO DE INICIATIVAS DE MELHORIA CONTÍNUA NA INDÚSTRIA ALIMENTAR .....	9
TABELA 2.3 INDICADORES OEE E A SUAS RELAÇÕES COM AS 6 GRANDES PERDAS .....	11
TABELA 2.4 CAUSAS INTERNAS E EXTERNAS PARA AS PERDAS DE OEE .....	14
TABELA 2.5 PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS ACERCA DA APLICAÇÃO DA MÉTRICA OEE NA INDÚSTRIA ALIMENTAR .....	15
TABELA 2.6 RELAÇÃO ENTRE AS TRÊS QUESTÕES BÁSICAS E AS FERRAMENTAS TOC-TP .....	19
TABELA 2.7 RELAÇÃO ENTRE OS 5FS E AS TRÊS QUESTÕES BÁSICAS .....	22
TABELA 2.8 ARTIGOS CIENTÍFICOS RELATIVOS À APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA TOC-TP (1) .....	27
TABELA 2.9 ARTIGOS CIENTÍFICOS RELATIVOS À APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA TOC-TP (2) .....	28
TABELA 2.10 ARTIGOS CIENTÍFICOS RELATIVOS À APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA TOC-TP (3) .....	29
TABELA 3.1 VISÃO, MISSÃO E OBJETIVOS DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL DA NOBRE ALIMENTAÇÃO, LDA. ....	53
TABELA 3.2 PRODUTOS FABRICADOS NA LINHA 5 DA ÁREA DOS FATIADOS .....	56
TABELA 3.3 PERDAS ASSOCIADAS AOS INDICADORES DE OEE DEFINIDAS PELA EMPRESA NOBRE ALIMENTAÇÃO LDA. ....	61
TABELA 3.4 VALORES DO OEE E INDICADORES DA LINHA 5 PARA O 1º SEMESTRE 2021 .....	61
TABELA 5.1 RELAÇÃO ENTRE OS UDE E FCS E CN .....	73
TABELA 5.2 MATRIZ PARA CÁLCULO DO IMPACTO DOS UDE DO SISTEMA .....	80
TABELA 5.3 CAUSAS-RAIZ E CRC IDENTIFICADAS NA CRT .....	80
TABELA 5.4 INJEÇÕES PARA A ELIMINAÇÃO DA CRC 162 .....	83
TABELA 5.5 PRESSUPOSTOS E INJEÇÕES RELATIVAS À CRC 124 .....	85
TABELA 5.6 INJEÇÕES PROPOSTAS .....	85
TABELA 5.7 INJEÇÕES "ADIÇÕES LÓGICAS" .....	86
TABELA 5.8 GRAU DE EXEQUIBILIDADE DAS INJEÇÕES PROPOSTAS .....	87
TABELA 5.9 GRAU DE EXEQUIBILIDADE DAS INJEÇÕES "ADIÇÕES LÓGICAS" .....	87
TABELA 5.10 INJEÇÕES PARA ELIMINAR OS NBR IDENTIFICADOS .....	91
TABELA 5.11 TRANSFORMAÇÃO DOS UDE EM DÊS .....	91
TABELA 5.12 OBJETIVOS INTERMÉDIOS (IO) DEFINIDOS PARA A PRT .....	98
TABELA 5.13 INDICAÇÃO DOS OBSTÁCULOS (O) DA PRT .....	98
TABELA 5.14 IDENTIFICAÇÃO DAS AÇÕES PARA NEUTRALIZAR OS OBSTÁCULOS DA PRT .....	99
TABELA 5.15 NÍVEL 1 DA STT .....	102
TABELA 5.16 NÍVEL 2 DA STT .....	103
TABELA 5.17 SUBNÍVEL 3.1.1 DA STT .....	104

TABELA 5.18 SUBNÍVEL 3.1.2 DA STT .....	104
TABELA 5.19 PRECEDÊNCIAS, DURAÇÕES DAS ATIVIDADES E RECURSOS DO PROJETO .....	105
TABELA 5.20 DESCRIÇÃO DOS QUADRANTES DA MATRIZ ESFORÇO-BENEFÍCIO .....	108
TABELA 5.21 TIPOS DE FORMAÇÃO .....	109
TABELA 5.22 RESULTADOS EXPECTÁVEIS NA MELHORIA DO OEE .....	111
TABELA 5.23 QUADRO SÍNTESE DE RESULTADOS DO CASO DE ESTUDO (1) .....	112
TABELA 5.24 QUADRO SÍNTESE DE RESULTADOS DO CASO DE ESTUDO (2) .....	113
TABELA 5.25 QUADRO SÍNTESE DE RESULTADOS DO CASO DE ESTUDO (3) .....	114
TABELA C. 1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA CONSTRUÇÃO TRADICIONAL DA CRT .....	134
TABELA C. 2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO MÉTODO DAS TRÊS NUENS PARA CONSTRUÇÃO DA CRT .....	134
TABELA C. 3 PASSOS PARA A CONSTRUÇÃO DO CRD .....	135
TABELA C. 4 QUESTÕES-GUIA PARA A CONSTRUÇÃO DO CRD .....	135
TABELA C. 5 QUESTÕES-GUIA PARA A CONSTRUÇÃO DA STT .....	137
TABELA E. 1 INJEÇÕES "ADIÇÕES LÓGICAS" PARA A PRODUÇÃO DOS DES .....	142
TABELA E. 2 INJEÇÕES <i>EXTRA</i> PARA ELIMINAR AS RESTANTES CRC IDENTIFICADAS .....	142

## SIGLAS

5FS	<i>Five Focusing Steps</i> Cinco Passos de Focalização
5S	Cinco S's
ADP	<i>Adaptive Procedure with Density</i>
BM	<i>Buffer Management</i> Gestão de Reservas
CC	<i>Critical Chain</i> Cadeia Crítica
CCPM	<i>Critical Chain Project Management</i> Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica
CLR	<i>Categories of Legitimate Reservations</i> Categorias de Reserva Legítima
CRC	<i>Critical root cause</i> Causa-raiz crítica
CRD	<i>Conflict Resolution Diagram</i> Diagrama de Resolução de Conflitos
CRT	<i>Current Reality Tree</i> Árvore da Realidade Atual
CN	Condições Necessárias
C&PM	<i>Cut-and-Paste Method</i>
DBR	<i>Drum-Buffer-Rope</i> Tambor-Reserva-Corda
DE	<i>Desirable Effect</i> Efeito desejável
DMAIC	<i>Define - Measure - Analyze - Improve - Control</i> Defenir - Medir - Analisar - Melhorar - Controlar
EC	<i>Evaporating Cloud</i> Nuvem Evaporante
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FCS	Fatores Críticos de Sucesso
FRT	<i>Future Reality Tree</i> Árvore de Realidade Futura
FS	<i>Finish-to-Start</i>

GT	<i>Goal Tree</i> Árvore de Objetivos
HACCP	<i>Hazard Analysis and Critical Control Points</i> Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos
I	<i>Inventory</i> Inventário ou Investimento
IO	<i>Intermediate Objectives</i> Objetivos Intermédios
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MCS	<i>Monte Carlo Simulation</i> Simulação Monte Carlo
MES	<i>Manufacturing Execution Software</i>
NA	<i>Necessity Assumption</i> Pressuposto de Necessidade
NBR	<i>Negative Branch Reservations</i> Reservas de Ramos Negativos
NVA	<i>Non-value added</i> Valor não-acrescentado
O	<i>Obstacle</i> Obstáculo
OE	<i>Operational Expenses</i> Despesas Operacionais
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> Desempenho Global de Equipamentos
OPT	<i>Optimized Production Technology</i>
PA	<i>Parallel Assumption</i> Pressuposto Paralelo
POOGI	<i>Process of Ongoing Improvement</i> Processo de melhoria contínua
PRT	<i>Pre-requisite Tree</i> Árvore de Pré-requisitos
S	<i>Strategy</i> Estratégia
SA	<i>Sufficiency Assumption</i> Pressuposto de Suficiência
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
STT	<i>Strategy&amp;Tactics Tree</i> Árvore de Estratégia&Tática
RSEM	<i>Root Square Error Method</i> Método da Raiz do Erro Quadrático
T	<i>Tactic</i> Tática

T	<i>Throughput</i> Ganho
TA	<i>Throughput Accounting</i> Contabilidade de Ganhos
TOC	<i>Theory of Constraints</i> Teoria das Restrições
TP	<i>Thinking Processes</i>
TOC-TP	<i>TOC Thinking Processes</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> Manutenção Produtiva Total
TT	<i>Transition Tree</i> Árvore de Transição
UDE	<i>Undesirable Effects</i> Efeitos Indesejáveis
VSM	<i>Value Stream Mapping</i> Mapeamento do Fluxo de Valor



# INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

No mundo atual, com a globalização de mercados e a forte concorrência presente em diversos setores da indústria de produção e de serviços, é necessário que as organizações melhorem permanentemente a sua produtividade, compreendendo a sua estrutura de processos, de forma a melhorar a eficiência da mesma. Para isso, cada organização deve encontrar a filosofia de gestão que melhor se adequa à sua estratégia, de forma a obter toda e qualquer vantagem em relação aos seus rivais, sendo certo que as organizações que estão em mercados mais competitivos são as mais eficientes [1], [2].

A indústria alimentar constitui um dos setores mais importantes da economia mundial e, embora semelhante a indústrias de produção tradicionais, apresenta um conjunto de características únicas e enfrenta vários desafios que estão a encorajar as organizações do setor a melhorar a sua produtividade e estratégias de qualidade para se manterem competitivas [3]. O aumento de regulamentação no setor alimentar levou ao aumento de custos, exigindo a redução de desperdício e perdas, mas também o aumento da eficiência dos processos, tanto organizacionais como produtivos [1].

Assim, as iniciativas de melhoria contínua tornam-se críticas e muito valiosas para as organizações do setor alimentar, promovendo não só a garantia da qualidade e a oferta de produtos seguros e competitivos a clientes exigentes, mas também o crescimento sustentável e a estabilidade das organizações[4]. Atualmente, as abordagens de melhoria contínua mais disseminadas, não apenas na indústria de produção, mas também na indústria de serviços, são o *Lean*, o Seis Sigma, a metodologia híbrida *Lean Seis Sigma* e a Teoria das Restrições (*Theory Of Constraints* em inglês) [5].

A TOC é uma filosofia de gestão desenvolvida por Eliyahu M. Goldratt, fundamentada na melhoria contínua de Sistemas. A Teoria é considerada uma metodologia poderosa e sistémica de estruturação e resolução de problemas, orientando a melhoria contínua e a gestão da mudança nas organizações [6], [7].

No contexto da procura pela melhoria do desempenho de Sistemas, este trabalho foi desenvolvido com base nos princípios de Goldratt, aplicando a componente reflexiva da TOC, os *Thinking Processes* (TP), a uma linha de produção da Empresa Nobre Alimentação Lda, visando a melhoria do seu desempenho global, medido pelo valor do Desempenho Global de Equipamentos (OEE). A aplicação da TOC *Thinking Processes* (TOC-TP) oferece uma abordagem eficaz e sistemática para a identificação dos fatores que, atualmente, impedem o

Sistema de atingir um melhor desempenho e o desenvolvimento de um plano de ação para os mitigar.

Deste modo, esta investigação propõe, ainda, a introdução dos conceitos da TOC na Empresa Nobre Alimentação Lda e a replicação do modelo aplicado a estudos conduzidos noutras linhas de produção da organização. Por outro lado, o trabalho desenvolvido pode ser uma referência para outras investigações relativas à temática da TOC-TP e destaca-se, não só pela exploração da *Critical Chain Project Management* com as soluções propostas através dos TP, mas também pela aplicação da TOC num novo contexto - indústria alimentar - cujas iniciativas de melhoria passam somente pelas abordagens *Lean* e Seis Sigma.

## 1.2. Objetivos da Dissertação

O principal objetivo da presente dissertação é a aplicação da Teoria das Restrições (TOC), abordagem de melhoria contínua, à *Melhoria do Desempenho Global de Equipamentos (OEE)* de uma linha de produção da Empresa Nobre Alimentação Lda, na sua componente reflexiva de *Thinking Processes (TP)*. Desta forma, com a aplicação de uma abordagem eficaz e sistémica, pretende-se compreender os fatores que impedem o Sistema de atingir um melhor desempenho, desenvolver e implementar soluções para os mitigar, resultando na melhoria do desempenho global do Sistema.

Este trabalho procura, também, apresentar uma proposta de aplicação dos TP com a *Critical Chain Project Management (CCPM)* - ferramenta de Gestão de Projetos da TOC - que permite o planeamento detalhado da execução das soluções, desenvolvidas a partir dos TP, orientando a organização na implementação de soluções que beneficiarão o Sistema em análise.

Esta investigação tem ainda como objetivo contribuir para o nível organizacional da Empresa Nobre Alimentação Lda, com a introdução de uma nova metodologia de melhoria contínua que permite a reflexão e compreensão detalhada de qualquer Sistema, pequeno ou grande, a examinação dos principais problemas e a criação de importantes ações de melhoria. De igual modo, também visa contribuir para o nível científico através da aplicação da TOC-TP e da CCPM a um Caso de Estudo real.

### 1.3. Metodologia de Investigação

Na Figura 1.1 está representada a síntese da metodologia de investigação seguida na presente dissertação.

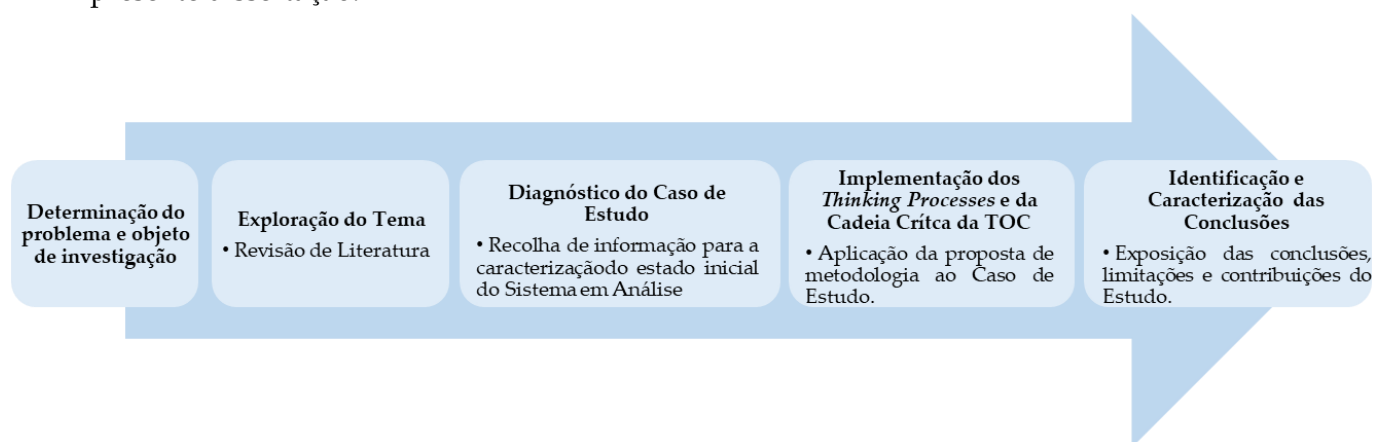


Figura 1.1 Esquema da metodologia de investigação

Observando o esquema, a metodologia adotada foi decomposta em cinco etapas. A primeira consiste na definição do objetivo da investigação, vide capítulo 1.2. De seguida, foi necessário realizar uma pesquisa científica detalhada no âmbito do tema *Thinking Processes* da TOC. Com a exploração do tema pretende-se compreender, na sua totalidade, os conceitos e as ferramentas inerentes a este, bem como o levantamento de estudos já desenvolvidos na área da TOC-TP relativos à aplicação da metodologia em organizações.

A terceira etapa consiste no diagnóstico do Caso de Estudo<sup>1</sup>[8], através da recolha de informação e dados para a caracterização do sistema produtivo em análise. Com a descrição dos processos produtivos que o compõem, foi possível construir uma visão, não só global, mas também detalhada do estado inicial do Sistema (i.e., linha de produção em análise).

Após esta etapa, procedeu-se à aplicação sequencial de todas as ferramentas TP, de forma a dar resposta às questões fundamentais da TOC, como descrito na metodologia proposta. O processo de construção de cada ferramenta lógica é iterativo e o progresso do mesmo, até à sua conclusão, foi acompanhado e aprovado pela organização. Com a conclusão da presente etapa, foi possível apresentar uma análise detalhada da linha de produção, nomeadamente a identificação dos principais problemas que o estão a inibir de alcançar o seu desempenho potencial. Também se propõe uma definição e uma descrição de soluções para serem executadas e que incluem o planeamento de ações através da TOC (i.e., CCPM), numa perspetiva de melhoria do Sistema.

Por último, a quinta etapa pretende ser uma reflexão crítica acerca do Caso de Estudo desenvolvido, onde são apresentadas as principais conclusões e, em especial, as suas contribuições para a Empresa.

---

<sup>1</sup> Para o desenvolvimento da componente prática da dissertação foi selecionada a estratégia de Caso de Estudo pois tem a capacidade de gerar conhecimento a partir de um fenómeno em contexto de vida real, levando a descrições empíricas robustas e ao desenvolvimento da teoria. A estratégia de Caso de Estudo baseia-se em dados, muitas vezes qualitativos e quantitativos, de uma variedade de fontes para compreender totalmente a dinâmica do Caso [8].

## 1.4. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada em seis capítulos principais. O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução à temática em estudo, o seu enquadramento e os seus objetivos. Também é exposta a metodologia da investigação desenvolvida, bem como a organização estrutural do documento.

O segundo capítulo é composto por uma análise crítica ao conhecimento do tema da dissertação. Este capítulo permite a descrição e, por sua vez, a compreensão de todos os conceitos abordados ao longo do presente estudo. De forma sintetizada, o capítulo apresenta o conceito de Melhoria Contínua e as suas abordagens mais difundidas; caracteriza a Indústria Alimentar e a aplicação de Melhoria Contínua neste setor (nomeadamente as ferramentas *Lean*, como o TPM e o OEE). De seguida, são abordados todos os conceitos e ferramentas relativos à Teoria das Restrições, com especial ênfase na sua componente reflexiva, composta pelos *Thinking Processes* e a sua aplicação prática em situações reais. No âmbito da presente investigação, é feita uma descrição detalhada das ferramentas lógicas da TOC-TP e, por último, uma breve descrição do método de gestão de projetos baseado na lógica da TOC - *Critical Chain Project Management (CCPM)*.

O terceiro capítulo consiste na apresentação do Caso de Estudo. O capítulo apresenta, sucintamente, a Empresa onde foi desenvolvido o Estudo; caracteriza a linha de produção que foi alvo de análise, através da descrição dos produtos nela fabricados e da análise do seu processo produtivo. Foi também realizado um diagnóstico do estado atual da linha através da análise dos valores de OEE, respetivos indicadores e a definição das suas principais perdas. No quarto capítulo é exposta a proposta metodológica do Caso de Estudo, de forma pormenorizada e fundamentada, para a aplicação dos *Thinking Processes* da TOC e da CCPM no Caso de Estudo.

O quinto capítulo descreve integralmente a aplicação da TOC-TP, com base na metodologia proposta no capítulo anterior, ao Caso de Estudo na Empresa Nobre Alimentação Lda. A aplicação completa e sequencial das ferramentas TP, com o acompanhamento do departamento de Engenharia Industrial, permitiu obter resultados e formular conclusões importantes para o desenvolvimento da investigação.

Por último, o sexto capítulo encerra a dissertação com a apresentação das principais conclusões do Caso de Estudo. São expostas as limitações do Estudo, bem como as suas contribuições para a Empresa e para a comunidade científica e, adicionalmente, são expressas recomendações para trabalhos futuros.

## MELHORIA CONTÍNUA MEDIANTE OS *THINKING PROCESSES* DA TOC

### 2.1. Melhoria Contínua na Indústria Alimentar

A melhoria contínua é um elemento vital para o alcance da excelência organizacional. Com o aumento da competitividade nas indústrias de produção e serviços, a melhoria contínua torna-se cada vez mais crítica e a base para qualquer organização conseguir atingir um crescimento sustentável e a estabilidade[9], [10].

O conceito de melhoria contínua vem do termo japonês *Kaizen*. Esta palavra inclui dois conceitos *Kai* (mudança) e *Zen* (para melhor). Deming (1982) definiu a melhoria contínua como o processo de “*melhorar constantemente e para sempre o sistema de produção e serviços*”[9]. A capacidade organizacional de melhorar e otimizar continuamente serviços, processos e produtos é definida por Bessant *et al.* como “*um processo de inovação incremental, focado e contínuo que engloba toda a organização*”[11].

Os princípios fundamentais da melhoria contínua são [9]:

- A melhoria contínua é um ciclo, não é um ato único. Como resultado, é uma atividade constante que deve ser realizada ao longo do tempo. Não deve ser realizada como uma atividade independente;
- Todas as pessoas da organização devem participar no ciclo de melhoria contínua;
- O objetivo da melhoria contínua é, precisamente, melhorar. Para isso, a organização deve concentrar-se na eliminação de desperdícios e identificação de novas oportunidades de melhoria.

A razão do sucesso da melhoria contínua é a inclusão de pessoas e critérios organizacionais, o apoio e o compromisso de toda a organização para a sua adoção e incorporação, em vez do mero foco nas ferramentas [12]. Como tal, o envolvimento e o compromisso dos colaboradores estão fortemente relacionados com o sucesso de melhoria contínua. É essencial que os colaboradores se sintam motivados e capacitados, com todas as conhecimentos e competências relevantes, para que haja o seu envolvimento nas atividades de melhoria continua [13].

O principal objetivo dos sistemas de melhoria contínua é concretizar todos os objetivos definidos pela organização de forma gradual, sistemática e consistente [14]. Existem três abordagens de melhoria contínua bastante difundidas nas áreas da investigação científica: *Lean*, Seis Sigma e Teoria das Restrições, cuja breve descrição é apresentada abaixo. Estas ferramentas visam a resolução de problemas e a melhoria dos Sistemas onde intervêm [15], [16]. A Tabela 2.1 sintetiza os princípios de aplicação das abordagens e refere as ferramentas que as incorporam [17].

### ***Lean***

Com a evolução da filosofia *Lean*, esta metodologia não ficou limitada ao setor automóvel, onde nasceu, e foi sendo aplicada, gradualmente, a outros setores [16]. O seu objetivo é eliminar desperdícios para tornar os processos mais rápidos e entregar o produto/serviço quando o Cliente quer, com o mínimo de recursos e com a qualidade definida pelo Cliente. Os princípios *Lean* passam pela identificação e eliminação de atividades NVA<sup>2</sup> através da análise da cadeia de valor, do alinhamento da produção com sistemas *pull* e da procura por oportunidades de melhoria através do envolvimento dos colaboradores da organização [4].

### **Seis Sigma**

A metodologia Seis Sigma, introduzida pela Motorola (década de 80), é utilizada para resolver problemas complexos, com variabilidade especial, para os quais a solução é desconhecida [5]. O foco do Seis Sigma é a qualidade. Como tal, o seu objetivo é reduzir a variação para resolver os problemas de processos e de negócios e conseguir obter uma maior quantidade de produtos conformes[3]. Esta metodologia baseia-se na utilização de um conjunto de ferramentas estatísticas que permitem resultados significativos na qualidade dos processos e na conceção de novos produtos.

### **Teoria das Restrições**

A TOC, desenvolvida por E. M. Goldratt (final da década de 80), é uma filosofia de melhoria contínua que se concentra na identificação, melhoria e gestão do desempenho das restrições de um Sistema, numa perspetiva de alcançar a melhoria do desempenho global do mesmo. A TOC afirma que é a restrição impede um Sistema de atingir o seu melhor nível de desempenho [18]. Assim, é necessário focar os esforços de melhoria na restrição para melhorar o desempenho do Sistema e, conseqüentemente, aumentar o lucro da organização, pois o principal objetivo destas é: “*fazer dinheiro hoje e no futuro*”<sup>3</sup>[19].

---

<sup>2</sup> Valor não acrescentado.

<sup>3</sup> Referindo-se a uma organização com fins lucrativos e atuando com padrões éticos. Na situação geral, o objetivo de uma organização ou Sistema é “aproximar-se cada vez mais da sua Meta hoje e no futuro”

Tabela 2.1 Síntese das Abordagens Lean, Seis Sigma e TOC  
Adaptado de Nave (2002) e de Pacheco (2014)

Abordagem	Lean	Seis Sigma	Teoria das Restrições
<b>Origem</b>	Toyota (Toyota, Ohno, Shingo -1950's)	Motorola e General Eletrics (1980's)	Goldratt (1980's)
<b>Teoria</b>	Eliminação de Desperdício	Redução de Variabilidade	Gestão de Restrições
<b>Diretrizes de Aplicação</b>	1. Definir Valor 2. Identificar a Cadeia de Valor 3. Passar de <i>Push</i> para <i>Pull</i> 4. Fazer Fluir ( <i>flow</i> ) 5. Perseguir a Perfeição	1. Definir 2. Medir 3. Analisar 4. Melhorar 5. Controlar	1. Identificar a Restrição 2. Explorar a Restrição 3. Subordinar o Sistema 4. Elevar a Restrição 5. Repetir o Ciclo
<b>Foco</b>	Fluxo	Problema	Restrição
<b>Ferramentas</b>	VSM, Takt Time, JIT, Kanban, Poka-Yoke, 5S, SMED, etc.	Pareto, Diagrama Ishikawa, FMEA, Histograma, DOE, SPC, etc.	DBR, CC, Análise V-A-T, BM, <i>Thinking Processes</i> , Medidas de Desempenho.
<b>Aplicação a Nível de Gestão</b>	Gestão Operacional	Gestão Intermédia	Gestão de Topo
<b>Facilidade de Aplicação</b>	Pouca Dificuldade	Dificuldade Intermédia	Elevada Dificuldade
<b>Aspetos Culturais</b>	Implica a Mudança Difunde-se por todas as Áreas de Negócio	Cultura de Mínimo Desperdício Ênfase na Melhoria Contínua	Capacitação dos Colaboradores Foco no Cliente

## Indústria Alimentar

Nas organizações da indústria alimentar, o foco é a qualidade e segurança alimentar [3]. Como existem potenciais riscos à segurança alimentar em todas as fases do processo de produção de alimentos, é essencial que estas organizações cumpram normas consoante os Sistemas de Gestão de Qualidade, ISO 9001/22000 e o Sistema HACCP<sup>4</sup>, de forma a estabelecerem procedimentos de controlo de risco ao longo de todo o processo e garantirem elevados padrões de segurança alimentar [17], [18].

O HACCP é uma certificação internacional e institucionalizada cujo objetivo é maximizar a segurança de produtos alimentares - o certificado é obrigatório em termos legais em vários países, incluindo Portugal [20] - promove uma abordagem preventiva sistemática para a segurança alimentar à luz dos perigos biológicos, químicos e físicos envolvidos nos processos de produção de alimentos. O HACCP possibilita o controlo das fases críticas do processo de produção, melhorando diretamente a qualidade e segurança dos produtos acabados [20], [23]. O sistema HACCP é bastante eficaz, não só no que diz respeito a aspetos sanitários, mas também na diminuição de perdas e aumento da competitividade na indústria alimentar [24].

Segundo Mahalik & Nambiar [1], o aumento de regulamentação no setor alimentar levou ao aumento de custos, exigindo a melhoria de processos. Assim, outro grande objetivo das organizações deste setor é reduzir o desperdício alimentar, perdas e custos, mas também,

<sup>4</sup> Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos. Este Sistema pode ser aplicado no âmbito de normas de Segurança Alimentar como a ISO 22000 que estabelece o ponto com a ISO 9001, ou por normas da Segurança Alimentar ainda mais exigentes por clientes como as BBC (British Retail Consortium) ou equivalentes (IFS, FSSC 22000) que devido ao seu elevado grau de especificidade e exigência são consideradas normas de Produto, na Área Alimentar.

tornar mais eficientes os seus processos tanto organizacionais, como produtivos [25]. Costa *et al.* defendem a necessidade de aplicação de metodologias de melhoria contínua nestas organizações caso estas pretendam manter-se competitivas [4].

Apesar de diversas aplicações de metodologias de melhoria contínua em setores industriais, no setor alimentar são escassas. Foi conduzido um levantamento de publicações científicas relativas ao tema *Melhoria Contínua na Indústria Alimentar*, a partir do motor de busca *Scopus* e o número de publicações obtidas foi reduzido. As práticas *Lean* são as mais utilizadas, seguidas pela metodologia *Seis Sigma* e, mais recentemente, o híbrido *Lean Seis Sigma* [3], [46], [47], não tendo sido encontrados artigos científicos acerca da aplicação da TOC no setor alimentar. Assim, é possível concluir que existe uma necessidade de aumentar a investigação e a aplicação de iniciativas de melhoria contínua neste setor. A Tabela 2.2 apresenta as práticas de melhoria contínua mais aplicadas na indústria alimentar que se encontram citadas na Literatura [26], [27], [36]-[45], [28]-[35].

A rara adoção de iniciativas de melhoria contínua neste tipo de organizações deve-se ao facto de este apresentar diversas características que limitam a implementação dessas práticas e técnicas. Essas características são [3], [4], [45], [46], [48]-[50]:

- Perecibilidade de matérias-primas e produtos acabados (i.e., prazo de consumo é limitado);
- Sazonalidade da matéria-prima e produtos acabados;
- A variedade de matérias-primas e produtos utilizados na produção (e.g., uma certa quantidade de matéria-prima produz diversas variedades de produtos finais quantidade de produto);
- Fluxo de produtos heterogéneo composto por diferentes materiais e ingredientes (e.g. o embalamento...) do produto vai variar consoante a forma, o tamanho, a impressão e o rótulo;
- Processos de produção complexos;
- Complexidade nos planos de produção e longos tempos de paragem para limpeza, preparação e configuração dos equipamentos;
- Empacotamento dos produtos está localizado noutra área, separada da área de produção, para garantir a qualidade dos produtos acabados;
- Procura imprevisível.

As especificidades desta indústria podem levar à resistência da mudança de práticas e adoção de novas filosofias de gestão por parte das organizações e dos colaboradores [31]. Por exemplo, a implementação da metodologia SMED é limitada devido às frequentes e demoradas limpezas das áreas de produção que são extremamente necessárias para garantir a qualidade e segurança dos produtos [50], [51].

Tabela 2.2 Artigos relativos à aplicação de iniciativas de melhoria contínua na indústria alimentar  
Adaptado de Farissi *et al.* (2021) e Maleszka & Linke (2016)

<b>Ferramentas Lean</b>	<b>Breve Descrição</b>	<b>Artigos</b>
TPM	Ferramenta cujo objetivo é melhorar a disponibilidade dos equipamentos através da redução do tempo de paragens devido às falhas do equipamento. Envolve todos os níveis da Organização.	Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance (2003) A Classification Scheme for the Process Industry to Guide the Implementation of Lean (2006) Lean manufacturing in two Serbian food companies - case studies (2012) Implementation of Lean Principles in a Food Manufacturing Company (2013) Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry (2019)
SMED	Ferramenta cujo objetivo é a reduzir, sistematicamente, o tempo de mudança ( <i>changeover</i> ) de referência produto.	A Classification Scheme for the Process Industry to Guide the Implementation of Lean (2006) Implementation of Lean Principles in a Food Manufacturing Company (2013) Application of lean manufacturing tools in the food and beverage industries (2015) Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED (2017) TRIZ and lean philosophies applied together in management activities (2019)
5S	Organização e gestão do espaço de trabalho. Os 5S refere-se a cinco palavras <i>Seiri</i> (Separar), <i>Seiton</i> (Organizar), <i>Seiso</i> (Limpar), <i>Seiketsu</i> (Normalizar), <i>Shitsuke</i> (Sustentar)	A Classification Scheme for the Process Industry to Guide the Implementation of Lean (2006) Implementation of Lean Principles in a Food Manufacturing Company (2013) Application of lean manufacturing tools in the food and beverage industries (2015) Implementation of lean manufacturing in a food enterprise (2016) TRIZ and lean philosophies applied together in management activities (2019)
VSM	Ferramenta gráfica utilizada para mapear o processo produtivo. Fornece a distinção clara entre atividades VA (valor acrescentado) e NVA (valor não acrescentado).	Application of VSM for Minimization of Wastes in the Processing Side of Supply Chain of Cottonseed Oil Industry (2008) The implementation of lean manufacturing in the UK food and drink industry (2009) Applicability of lean production with VSM to the Rioja wine sector (2012) Applying lean techniques to nougat fabrication: A seasonal case study (2013) Application of value stream mapping in budjia manufacturing (2016) Implementation of lean manufacturing in a food enterprise (2016) Measuring food and nutritional losses through value stream mapping along the dairy value chain in Uganda (2019)
<b>Abordagem</b>	<b>Descrição</b>	<b>Artigo</b>
Seis Sigma	Metodologia que consiste num conjunto de ferramentas de qualidade e estatísticas. Tem como objetivo a melhoria de processos através da eliminação de defeitos, reduzindo a variação dos processos.	Applying six sigma to manufacturing processes in the food industry to reduce quality cost (2011) Curbing variations in packaging process through Six Sigma way in a large-scale food-processing industry (2014) Statistical Process Control (SPC) in the food industry – a systematic review and future research agenda (2014) A systematic review of statistical process control implementation in the food manufacturing industry (2017) A holistic approach of quality: a case study of UK chocolate manufacturing (2019)
Lean Seis Sigma (LSS)	Metodologia que integra as práticas e ferramentas do Lean e do Seis Sigma com o objetivo de melhorar o desempenho de processos, aumentar a satisfação do Cliente e melhorar os resultados financeiros de organizações.	Multi-factorial Lean Six Sigma product optimization for quality, leanness and safety: A case study in food product improvement (2014) Lean six sigma implementation in a food processing SME: A case study (2015) A lean six sigma project to reduce waste and variability in a confectionery manufacturing (2019)

Como os estudos realizados no âmbito de melhoria contínua na indústria alimentar são reduzidos, a eficácia destas iniciativas não é bem conhecida. Porém, alguns autores defendem que as organizações do setor alimentar beneficiam com a implementação de práticas de *Lean*, Seis Sigma ou *Lean Seis Sigma*. As melhorias mais citadas são: a redução de desperdício e, conseqüente melhoria de processos [46], [49]; a disponibilidade dos equipamentos e aumento de produtividade [21], [31], [46]; a redução do *lead time* e maior satisfação do Cliente e o aumento da capacidade de processos [52]. Por último, a adoção de práticas de melhoria contínua também incentiva o trabalho em equipa, assim como aumenta a confiança e a moral dos colaboradores [45].

Apesar da diminuta investigação de práticas de melhoria contínua na indústria alimentar, uma das práticas mais citadas é o TPM. O seguinte subcapítulo é reservado à breve apresentação das ferramentas *Lean*: TPM e a métrica OEE que servirão de suporte à melhor compreensão do Caso de Estudo exposto nos capítulos 3 e 5.

### 2.1.1. **Manutenção Produtiva Total (TPM)**

Como referido, com requisitos cada vez mais exigentes em termos de qualidade, tempo de entrega e custo de produto, as organizações começam definir objetivos ambiciosos de modo a alcançar “zero desperdício”, “zero avarias”, “zero defeitos” e “zero acidentes” [53]. Devido a este nível de exigência, ferramentas como o TPM e a métrica OEE foram desenvolvidos para as organizações garantirem um desempenho ótimo dos seus equipamentos e sistemas produtivos, tornando-se mais competitivas [54].

O conceito TPM, introduzido por Nakajima, tem como principal objetivo melhorar e manter a eficiência de equipamentos, requerendo o envolvimento de todos os níveis da organização, desde o nível estratégico ao operacional [55]-[57]. O TPM é considerado uma ferramenta *Lean* que elimina as perdas, reduz o tempo de paragem dos equipamentos e os custos associados às mesmas. Com a implementação do TPM é possível melhorar a disponibilidade dos equipamentos e, conseqüentemente, a produtividade através da melhoria da fiabilidade dos equipamentos e a qualidade dos produtos [53].

O TPM é composto por oito pilares, cada um representando uma prática necessária para a implementação e sustentação bem-sucedida da ferramenta. Os oito pilares são: (i) Melhoria Contínua, (ii) Manutenção Autónoma, (iii) Manutenção Planeada, (iv) Qualidade, (v) Formação e Treino, (vi) Segurança e Higiene no Trabalho, (vii) Controlo Inicial, (viii) Áreas de Suporte [58]. Estes pilares constituem um sistema cujo objetivo é maximizar a eficácia de qualquer indústria [59]. A implementação do TPM tem sido bem-sucedida em termos de melhoria de desempenho operacional em organizações e tem um impacto positivo na produtividade, custo, qualidade, segurança e moral dos colaboradores [55].

## 2.1.2. Desempenho Global de Equipamentos (OEE)

As medidas de desempenho são essenciais para as organizações, especialmente em sistemas de produção, pois para estas manterem a sua competitividade é necessário a monitorização e controlo de processos [60]. O OEE foi introduzido no contexto do TPM, e é das medidas de desempenho mais conhecidas no setor industrial [61]-[63].

O OEE permite identificar as perdas que impedem um sistema produtivo de atingir os níveis de eficiência esperados. A partir do OEE é possível determinar quais as causas que estão a afetar o desempenho global do sistema e que ações devem ser tomadas para mitigá-las [36], [64]. O objetivo do OEE é quantificar a produtividade através de uma métrica simples e clara. Na sua definição mais elementar, o OEE é definido por três indicadores – Disponibilidade (D), Desempenho ou *Performance* (P) e Qualidade (Q) - e identifica as 6 *Grandes Perdas* que comprometem o valor de cada indicador, Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Indicadores OEE e a suas relações com As 6 Grandes Perdas  
Fonte: Muchiri & Pintelon (2008)

Indicador do OEE	As Seis Grandes Perdas
Disponibilidade	1. Avarias
	2. Setups e ajustes
Desempenho ou <i>Performance</i>	3. Tempo ocioso e micro-paragens
	4. Redução de Velocidade
Qualidade	5. Produção Defeituosa
	6. Rendimento Reduzido

As 6 *Grandes Perdas*, definidas por Nakajima, encontram-se seguidamente descritas [63]-[65]:

1. Perdas de tempo por avarias/falhas dos equipamentos cuja consequência é a produtividade reduzida e perdas de qualidade devido a produtos defeituosos;
2. Perdas de tempo devido a preparações (*setups*) e ajustes que resultam do tempo ocioso e de produtos defeituosos devido à reconfiguração do equipamento para mudança de produto (*changeover*);
3. Perdas devido a tempo ocioso e micro-paragens que ocorrem quando a produção é interrompida devido ao mau funcionamento temporário ou quando um equipamento está ocioso;
4. Perdas devido a redução da velocidade estão associadas à diferença entre a velocidade ideal (i.e., máxima) de produção *versus* a velocidade efetiva de operação;
5. Perdas de qualidade devido a produção defeituosa ou retrabalho devido ao mau funcionamento dos equipamentos de produção;
6. Perdas devido ao rendimento reduzido que ocorre no arranque da produção, até à estabilização da máquina (*ramp-up*).

A fórmula convencional para o cálculo do OEE é [62], [64], [66]:

$$OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad (1)$$

O conceito de OEE baseia-se numa estrutura de decomposição de tempo como se pode observar no esquema da Figura 2.1. Esta estrutura simplifica o cálculo do OEE e a identificação das perdas mais significativas do sistema monitorizado, facilitando a tomada de decisão dos gestores numa perspectiva de melhoria contínua[61].

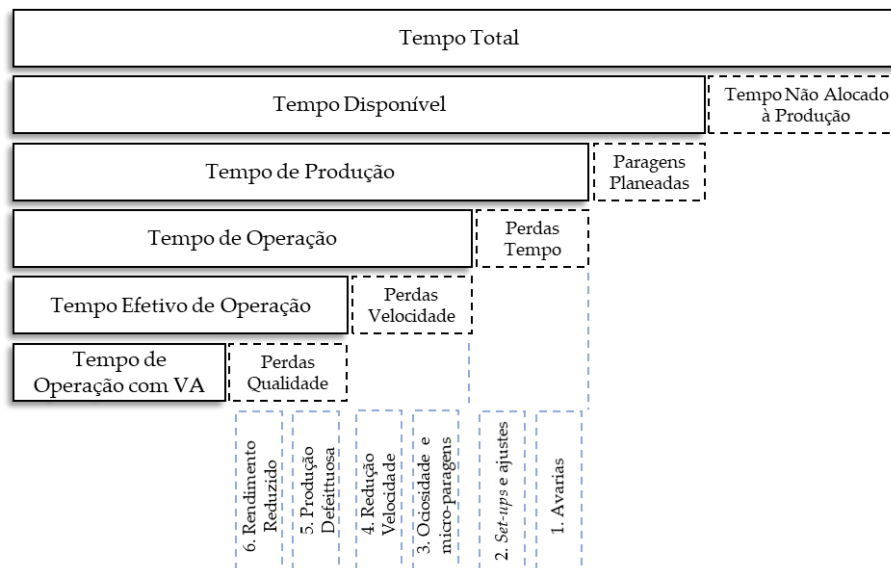


Figura 2.1 Estrutura base de decomposição do OEE  
Adaptado de Nakajima (1988) e Volkar *et al.* (2018)

Como visto anteriormente, as 6 *Grandes Perdas* permitem calcular os valores de cada indicador e com base na Figura 2.1., é apresentada uma breve descrição de cada indicador e a respetiva fórmula de cálculo<sup>5</sup> [61]:

**Disponibilidade:** Corresponde ao tempo em que o equipamento esteve efetivamente a produzir em relação ao tempo de produção planeado, está associada a perdas de tempo que são atribuídas às duas primeiras perdas - (1) avarias e (2) *setups* e ajustes. A fórmula para a Disponibilidade é:

$$D (\%) = \frac{\text{Tempo de Produção} - \text{Perdas de Disponibilidade}}{\text{Tempo de Produção}} \quad (2)$$

<sup>5</sup> Existem diversas fórmulas de cálculo para o OEE, no entanto as apresentadas seguem a estrutura apresentada pelo esquema da Figura 2.1.

**Desempenho:** Corresponde à diferença entre a velocidade de produção ideal<sup>6</sup> e a velocidade efetiva de produção. Assim, é calculado considerando as perdas de tempo associadas às perdas (3) tempo ocioso e micro-paragens e (4) redução da velocidade. O Desempenho pode ser calculado da seguinte maneira:

$$P(\%) = \frac{\text{Tempo de Operação} - \text{Perdas de Desempenho}}{\text{Tempo de Operação}} \quad (3)$$

**Qualidade:** Corresponde à taxa de qualidade, i.e., é a quantidade de produtos conformes à primeira (*First Time Through*) em relação à produção total. O indicador Q está associado às últimas duas perdas das 6 *Grandes Perdas* - (5) rendimento reduzido e (6) produção defeituosa. Uma das fórmulas de cálculo é:

$$Q(\%) = \frac{\text{Tempo Efetivo de Operação} - \text{Perdas de Qualidade}}{\text{Tempo Efetivo de Operação}} \quad (4)$$

A estrutura base do OEE é bastante simples e, ao longo do tempo, foram desenvolvidas variações do cálculo de OEE consoante a necessidade e os requisitos específicos das organizações - Schiralde & Varisco [61] e Muchiri & Pintelon [67] identificam as diferentes variações e terminologias da fórmula de Nakajima.

A vantagem do OEE, comparando com outros indicadores de produção, é o facto de englobar três indicadores num único valor numérico [60]. No entanto, a validade e utilidade do seu valor depende da recolha de dados pois, o que não é medido, não pode ser melhorado. Independentemente do sistema de recolha de dados, não é garantido que estes sejam precisos devido a perdas não reportadas pelos operadores no sistema e falhas no processo de medição [60], [64]. Com o aumento da digitalização, a adoção de sistemas como MES e ERP permitem a recolha de dados automatizada e a produção de relatórios detalhados em tempo real, permitindo que os analistas compreendam na totalidade as fontes de perda de OEE. Para auxiliar os gestores na análise de fontes de perda de OEE, Muchiri & Pintelon [67] classificaram diferentes causas de perdas, conforme ilustrado no Quadro (Tabela 2.4), de forma a tornar a tomada de decisão seja mais eficaz consoante as causas mais relevantes. As causas externas estão associadas a perdas que não podem ser controladas pela organização; as causas internas encontram-se dentro da zona de controlo da organização, por isso precisam de ser analisadas e devem ser tomadas ações para minimizar as respetivas perdas.

---

<sup>6</sup> Velocidade máxima que o equipamento pode atingir para a produção de um determinado produto.

Tabela 2.4 Causas Internas e Externas para as Perdas de OEE

Causas Externas	
<b>Procura</b>	Perdas devido à pouca Procura de Mercado. Pode implicar a paragem da linha de produção (i.e., equipamentos) ou baixa taxa de produção.
<b>Problemas Logísticos</b>	Perdas devido a problemas logísticos como a falha de abastecimento de matéria-prima ou de utilidades (e.g., eletricidade, água, etc.)
<b>Regulações Ambientais</b>	Perdas relacionadas com a cota de produção devido à degradação ambiental (e.g., restrição de quantidade de emissões de carbono pode limitar a produção)
<b>Causas Naturais</b>	Perdas de produção que resultam de causas naturais, e.g., más condições meteorológicas.
Causas Internas	
<b>Atividades Organizacionais</b>	Perdas relacionadas com problemas nas atividades de todos os níveis da organização e incluem: problemas de logística interna (e.g., transporte e armazenamento de produtos acabados); problemas de gestão; problemas de saúde/segurança, etc.
<b>Área de Operações</b>	Perdas relacionadas com a área de operações da organização. Estas perdas incluem As 6 Grandes Perdas e o tempo ocioso planeado.

## OEE na Indústria Alimentar

Nakajima introduziu o OEE e definiu que o valor que determinaria o sucesso de uma organização seria um valor igual ou superior a 85% - *World Class OEE*. Este OEE corresponderia a valores de Disponibilidade, Desempenho e Qualidade de 90%, 95% e 99%, respetivamente [57]. No entanto, na prática, atingir os valores referidos nem sempre é realista pois os valores referidos acima espelham a realidade de um lugar específico (Japão), numa época diferente (1970) e numa determinada indústria (automóvel). Atualmente, as organizações do setor industrial apresentam valores de OEE que se aproximam dos 60% [68]. Para efeitos do âmbito do trabalho desenvolvido, foi feito um levantamento de publicações científicas acerca da aplicação da métrica OEE na indústria alimentar. Apesar da Literatura ser limitada no que diz respeito a este tema, é apresentada a Tabela 2.5 com os artigos recolhidos [65], [69]-[72]. A Tabela é um exemplo de como o valor de OEE, que pode determinar o sucesso de um sistema produtivo, varia consoante o setor onde é aplicado. Neste caso, para a indústria alimentar, consoante o tipo de produtos fabricados, o valor de OEE varia, pois, os fatores presentes em cada um destes ambientes de produção são totalmente distintos, inclusive os recursos humanos e financeiros. Assim, evidencia-se que o que realmente importa não é o valor absoluto apresentado pela métrica, mas sim a capacidade de o melhorar. Assim, as organizações têm de ter um espírito crítico para definir um *target* realista de OEE que proporcione melhorias incrementais e sólidas para o sistema produtivo em questão.

Tabela 2.5 Publicações científicas acerca da aplicação da métrica OEE na indústria alimentar

Área de Produção	OEE (%)	Descrição	Autor e Ano de Publicação
Indústria Alimentar e de Bebidas	50	Neste caso, as principais perdas de OEE devem-se à frequente ocorrência de paragens não-planeadas e ao tempo prolongado na mudança de produto ( <i>changeover</i> ). Este estudo consistiu na avaliação de diversas organizações do setor alimentar e bebidas. A proposta consiste na aplicação de SMED e na melhoria da estratégia de manutenção (e.g., implementar TPM).	Cheh, K. (2014)
Produção de Queijo	76	Artigo apresenta uma linha com grandes perdas de tempo devido a avarias e perdas de velocidade. Apesar da Disponibilidade (%) ser aceitável, o tempo alocado à linha para atividades de manutenção é demasiado elevado. Assim, é proposta a otimização da estratégia de manutenção preventiva e a adoção práticas de manutenção autónoma, para além da formação e treino dos operadores.	Tsarouhas, P. (2014)
Produção de Pasta Vegetal	74	Os princípios da Gestão <i>Lean</i> e o TPM foram implementados com sucesso e, como consequência, o valor de OEE melhorou significativamente.	Rorat & Tabor (2019)
Produção de Iogurtes	92	O OEE é utilizado para avaliar o progresso da implementação de TPM numa linha de produção. A recolha de dados e análise da linha demorou 30 meses e o valor apurado de OEE foi bastante elevado (92%). Ainda assim, numa visão de melhoria contínua, foi proposto o objetivo de melhorar o indicador da Qualidade.	Tsarouhas, P. (2015)
Produção de Croissants	-	O artigo propõe melhorias para uma linha de produção com base num sistema de manutenção estratégico (i.e., TPM). Através da análise dos valores históricos de OEE e dos respetivos indicadores foi possível identificar as principais perdas da linha.	Tsarouhas, P. (2019)

## 2.2. Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (TOC) começou a ser desenvolvida no final da década dos anos 80 com a introdução do *software - Optimized Production Technology (OPT)* - de otimização do planeamento da produção por Eliyahu Moshe Goldratt, um físico israelita internacionalmente reconhecido pelo desenvolvimento de filosofias e práticas de gestão de organizações empresariais, tendo publicado inúmeros livros acerca da TOC e do desenvolvimento da mesma ao longo dos anos [19].

Goldratt foi o pioneiro do desenvolvimento da TOC e desde então inúmeros investigadores, por todo o Mundo, têm vindo a desenvolver e aprofundar os seus conceitos e a explorar a possibilidade da sua aplicação em diferentes áreas [73],[74]. A Teoria das Restrições é uma filosofia de melhoria contínua que se concentra na melhoria e na gestão do desempenho das restrições de um Sistema, numa perspetiva de alcançar a melhoria do desempenho global do mesmo [2], [75].

O princípio fundamental da TOC é que em qualquer Sistema existe, pelo menos, uma restrição que o impede de atingir o seu nível de desempenho potencial. [18].

Uma restrição é qualquer elemento ou fator que impede um Sistema de atingir o seu mais alto nível de desempenho tendo em conta o seu objetivo [76]. Aquilo que, à partida é uma limitação, segundo a TOC representa uma oportunidade para melhoria, então, contrariamente ao pensamento convencional, uma restrição é vista como algo positivo. A restrição é o que determina o desempenho do Sistema, por isso uma elevação (melhoria do desempenho) gradual da restrição vai melhorar o desempenho do Sistema [18].

Goldratt compara Sistemas a correntes. Como tal, o conceito fundamental da TOC é, tipicamente, apresentado pela analogia a uma corrente afirmando que a corrente é tão forte quanto a sua ligação mais fraca. A corrente vai quebrar primeiro num só ponto e a ligação mais fraca (restrição) impede a corrente (Sistema) de alcançar, com o melhor desempenho possível, o seu objetivo (transmitir força). Portanto, para reforçar a corrente (melhorar o Sistema) é preciso concentrar os esforços de melhoria na ligação mais fraca. Com a melhoria do desempenho da ligação mais fraca é possível melhorar o desempenho global da corrente. Caso os esforços se concentrassem em qualquer outra ligação, que não a mais fraca, seria considerado um desperdício, visto que a corrente irá sempre quebrar na ligação mais fraca [77].

A implementação da TOC pode ser feita em diversas áreas: produção, cadeia de abastecimento, gestão de projetos, contabilidade, entre outras. O ponto comum de todos os estudos já realizados, independentemente da área de implementação, é que existe sempre uma restrição no Sistema que o impede ter um melhor desempenho [2]. As práticas TOC já foram aplicadas em inúmeras empresas que apresentaram melhorias significativas no seu desempenho global, como por exemplo a 3M, a Amazon, a Boeing e a Delta, e a Ford Motor Company, a General Electric e a General Motors; e até mesmo algumas organizações sem fins lucrativos como o British National Health Service, as Nações Unidas e a NASA [78].

Para melhor compreensão do desenvolvimento da TOC é comum dividir a evolução desta filosofia e metodologia de gestão em cinco eras, vide Figura 2.2 [78]. Cada era é identificada pelo título de livros publicados por Goldratt (com exceção da primeira) e definem os limites temporais que correspondem aos principais desenvolvimentos da TOC ao longo dos anos.

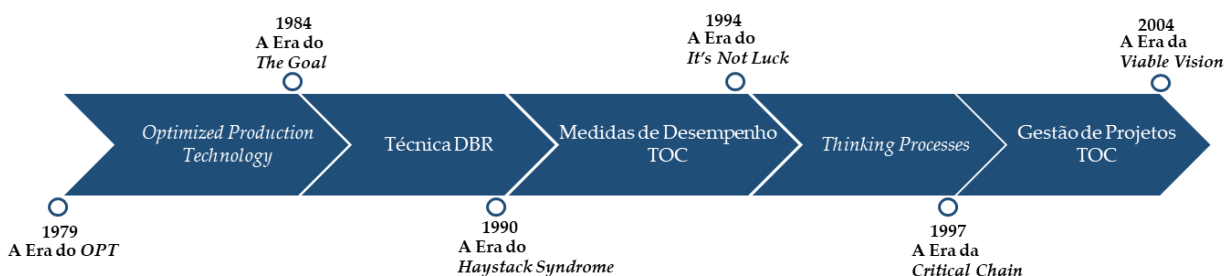


Figura 2.2 As Eras da Evolução da TOC  
Adaptado: Watson et al. (2007)

Como referido, a TOC foi introduzida em 1979 com a Era do *OPT* - o *software* que permitia o planeamento da produção considerando as limitações de capacidade presentes no chão de fábrica. Em 1984, com a publicação do livro *The Goal* [19], considerado um *bestseller* de gestão, a TOC atraiu a atenção de investigadores académicos e profissionais. O livro foi, essencialmente, escrito para educar os gestores e trabalhadores na implementação do *OPT*, mas foi bastante além disso [2]. É no *The Goal* que Goldratt introduz o conceito dos Cinco Passos de Focalização - *Five Focusing Steps* (5FS) - e a metodologia de planeamento da produção conhecida como *drum-buffer-rope*, (DBR) que são, atualmente, consideradas fundamentais para a implementação bem-sucedida da Teoria [78]. Durante a Era do *Haystack Syndrome* [79], Goldratt questionou se as medidas de desempenho, utilizadas pelas organizações, eram fiáveis. Chegando à conclusão que não, este apresentou a ferramenta denominada, na literatura, de *Throughput Accounting* (TA) como alternativa para a medição do desempenho de qualquer organização com a estruturação das medidas da TOC [77]. Em 1994, com a publicação do livro *It's Not Luck* [80], Goldratt apresentou os *Thinking Processes* da TOC e as cinco ferramentas lógicas que promovem a identificação rigorosa e sistemática de problemas e soluções para a resolução dos mesmos. Em 1997, foi introduzido um novo método para o planeamento e controlo de projetos, a *CCPM*, considerado um método eficaz na Gestão de Projetos [81]. Por fim, em 2004, Goldratt introduziu a *Viable Vision* para ser utilizada por consultores. Esta ferramenta permite aumentar o desempenho de uma organização através da implementação de soluções genéricas da TOC-TP [18], [82], [83].

Como metodologia de melhoria contínua, a TOC, utiliza uma série de ferramentas que permitem a elevação do desempenho de Sistemas. No Quadro 2.3. é possível visualizar um esquema sintetizado das várias componentes que a caracterizam. A TOC é uma metodologia que pode ser aplicada em quatro componentes distintas: Estratégica, Operacional, Prescritiva e Reflexiva[84], [85].

	Componente Prescritiva	Componente Reflexiva
Componente Estratégica	<b>Princípios e Conceitos</b>	<b>Análise e Resolução de Problemas</b>
	Princípios Conceituais Prescrições: As Três Questões Básicas Os Cinco Passos de Focalização Os Seis Níveis de Resistência	Ferramentas Lógicas: Árvore da Realidade Atual (CRT) Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD) ou <i>Evaporating Cloud</i> (EC) Árvore da Realidade Futura (FRT) Reservas de Ramos Negativos (NBR) Árvore de Pré-requisitos (PRT) Árvore de Transição (TT) Princípios de Validação: Categorias de Reserva Legítima (CLR)
Componente Operacional	<b>Aplicações Lógicas Específicas</b>	<b>Medidas de Avaliação de Desempenho</b>
	Drum-Buffer-Rope (DBR) Gestão de Reservas (BM) Cadeia Crítica (CC/CCPM) Análise V-A-T	Ganho (T) Inventário ou Investimento (I) Despesas Operacionais (OE)

Figura 2.3 Quadro Síntese das Componentes da TOC  
Fonte: Tenera (2006)

Na componente estratégica e prescritiva estão presentes os Conceitos e Princípios da Teoria das Restrições, destacando as Três Questões Básicas, os Cinco Passos de Focalização e os Seis Níveis de Resistência que devem ser contemplados no processo de gestão da mudança nas organizações. Com base na Figura 2.3, salienta-se que a componente reflexiva, inclui os *Thinking Processes* da TOC para análise e resolução de problemas – metodologia aplicada no Caso de Estudo do capítulo 5 - que consistem num conjunto de diagramas lógicos para a análise e resolução de problemas e permitem a resposta às Três Questões Básicas [86].

A componente operacional e prescritiva evidencia quatro ferramentas: DBR, CC, BM e Análise V-A-T. Cada ferramenta é brevemente descrita de seguida:

- **Drum-Buffer-Rope (DBR):** Método para programar e gerir operações quando há uma restrição interna no Sistema, pode ser aplicado em organizações dos setores industrial e serviços [87], [88]. O DBR é um método de planeamento da produção onde os materiais e os componentes são disponibilizados ao Sistema através de um mecanismo de comunicação denominado *rope* (corda), que visa garantir o abastecimento do *buffer* (reserva) que permite que as variações dos processos a montante que possam acontecer não afetem o desempenho da restrição - *drum* (tambor) [75], [84].
- **Cadeia Crítica (CC):** Método de planeamento e gestão de projetos. Os princípios da CC resultam em melhorias significativas no desempenho de projetos, reduzindo a duração total de projetos, os custos associados aos mesmos e promove a mudança de comportamentos típicos nos participantes de projetos. Esta metodologia define claramente as relações lógicas entre atividades e a disponibilidade dos recursos; contabiliza a variabilidade associada à duração das atividades e aplica reservas de tempo à rede de atividades para proteger o projeto [89], [90].
- **Gestão de Reservas (BM):** Mecanismo de controlo e medição da execução de atividades nas diferentes áreas de aplicação TOC (e.g., operações, distribuição e gestão de projetos), que permite saber quando agilizar e conduzir ações de melhoria consoante as prioridades de execução e monitoriza a capacidade de proteção das reservas, redimensionando-a quando necessário [78], [87], [88].
- **Análise V-A-T:** Classificação de ambientes de produção consoante a semelhança ao diagrama de fluxo lógico de materiais (i.e., desde a matéria-prima ao produto acabado) que apresentam. O diagrama pode ter a forma em “V”, “A” ou “T”. Esta ferramenta permite identificar e analisar as restrições presentes em cada ambiente e facilitar a gestão de operações [87], [88]. (E.g., a análise V-A-T pode auxiliar na determinação do posicionamento de reservas e pontos de controlo no método DBR [91]).

Por fim, a nível operacional e numa vertente reflexiva, a TOC apresenta três medidas de avaliação de desempenho: o Ganho (T), o Inventário (I) e as Despesas Operacionais (OE). Goldratt defende que o objetivo de qualquer organização é “fazer dinheiro agora e no futuro” [19], [92] e apresentou um método alternativo aos métodos de contabilidade tradicional - *Throughput Accounting* – que auxilia a tomada de decisão administrativa pois reconhece o impacto da restrição do Sistema no desempenho financeiro da organização e o impacto

frequente e não-linear que as ações e as decisões locais têm sobre o lucro e a sustentabilidade da organização [6], [10]. As três medidas propostas pela TOC estão descritas de seguida [84], [93], [94]:

- **Ganho:** É o valor monetário que o Sistema gera por meio de vendas por unidade de tempo. Outra definição é “todo o dinheiro que entra no Sistema”
- **Inventário ou Investimento:** Fundos monetários que o Sistema investe para estar na posição de produzir. Todo o dinheiro ancorado dentro do Sistema. Inclui o custo de aquisição de matérias-primas, componentes e a despesa em equipamentos e instalações.
- **Despesas Operacionais:** Despesas que o Sistema tem na transformação do I em T. A TA separa, na totalidade, os custos variáveis de OE para auxiliar de forma mais rápida e melhor a tomada de decisão.

O Caso de Estudo desenvolvido (capítulo 5) tem por base a aplicação do processo de reflexão *Thinking Processes* (TP) da TOC. Para o âmbito do trabalho é importante compreender que, a nível estratégico, as componentes prescritivas e reflexivas (Figura 2.3) estão intimamente relacionadas no processo de gestão de mudança de Sistemas. De seguida, são descritos pormenorizadamente os Princípios e Conceitos da TOC, é desenvolvida uma análise às ferramentas lógicas TP e, por último, é apresentada a Cadeia Crítica de Goldratt como ferramenta auxiliar para a operacionalização de soluções propostas, através da TOC-TP.

### As Três Questões Básicas

Alterar a situação atual para outra melhor implica **mudar** e a Teoria das Restrições é uma metodologia que se baseia na gestão da mudança. Assim, Goldratt apresentou as três questões básicas sobre a mudança, às quais um gestor deve responder: *O que mudar?*, *Mudar para o quê?* e *Como causar a mudança?*.

A resposta às três questões é possível a partir da aplicação dos princípios e ferramentas da Teoria das Restrições. Goldratt desenvolveu a ferramenta lógica *Thinking Processes* (TP) - uma ferramenta de resolução de problemas que se baseia num raciocínio lógico causa-efeito e é constituída por uma série de árvores lógicas que fornecem um caminho para a mudança - para auxiliar os gestores a responderem às questões, vide Figura [2], [77], [95].

Tabela 2.6 Relação entre as três questões básicas e as ferramentas TOC-TP

Questão	Objetivo	Diagrama Lógico
<i>O que mudar?</i>	Identificação de causas-raiz.	<i>Current Reality Tree</i>
<i>Mudar para quê?</i>	Desenvolvimento de soluções simples e práticas.	<i>Evaporating Cloud</i> <i>Future Reality Tree</i>
<i>Como causar a mudança?</i>	Implementação de soluções	<i>Prerequisite Tree</i> <i>Transition Tree</i>

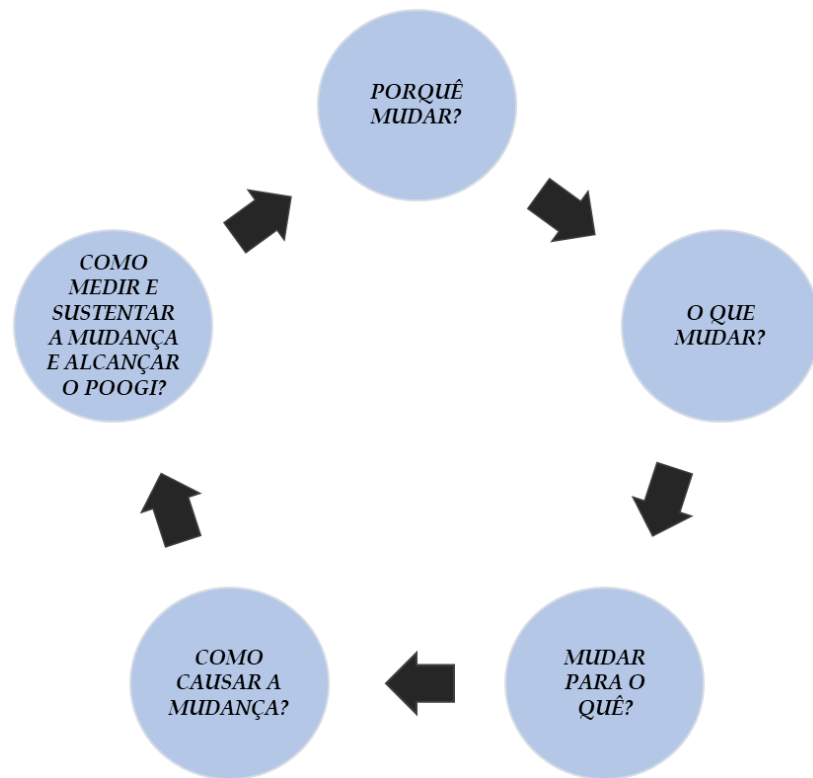


Figura 2.4 POOGI  
Adaptado de Gaspar (2019)

O objetivo de qualquer organização é garantir que opera consoante o *Process-Of-Ongoing-Improvement* (POOGI) para alcançar um crescimento sustentável e estabilidade. Este processo de melhoria contínua sugere que o desempenho de uma organização deve melhorar com o tempo [10], [86]. Com a evolução da TOC, as três questões básicas passaram a cinco. As duas questões acrescentadas foram: *Porquê mudar?* e *Como medir e sustentar a mudança e alcançar o POOGI?* [10] Com as duas questões acrescentadas é possível fechar o ciclo POOGI, concretizando o ciclo de melhoria contínua, vide Figura 2.4. Este ciclo orienta as organizações na gestão da mudança através da resposta sequencial das cinco questões.

### Os Cinco Passos de Focalização

Goldratt defende que o processo de melhoria deve ser contínuo e não deve passar por um só único esforço. Assim, desenvolveu os Cinco Passos de Focalização (5FS) para a implementação da metodologia TOC [96]. Uma breve descrição do processo 5FS está exposta abaixo e o fluxograma do mesmo no Anexo A.

#### Passo 1: Identificar a Restrição

*“Qual é a parte do Sistema que constitui a ligação mais fraca? Que tipo de restrição é?”.*

Segundo Watson *et al.* [78], as restrições podem ser classificadas em três tipos: restrições físicas, restrições políticas e restrições de mercado. As restrições físicas dizem respeito a equipamentos, materiais ou recursos que afetam diretamente a capacidade do Sistema,

tornando-a inferior à Procura [97]. As restrições de mercado são identificadas quando a capacidade do Sistema é superior à Procura. Por fim, as restrições políticas dizem respeito a políticas ou normas de gestão e procedimentos que limitam a capacidade produtiva do Sistema [98]. As restrições podem ser internas ou externas ao Sistema, qualquer restrição interna é mais fácil de ultrapassar que uma externa, visto que o controle e a influência sobre estas é da responsabilidade da organização [99].

Geralmente, a maioria das restrições que os Sistemas enfrentam são provenientes de políticas que são mais difíceis de resolver. No entanto, estas quando eliminadas e substituídas por uma nova política ou norma geram Sistemas com resultados significativamente melhores do que a eliminação das restrições físicas [77], [100]. Para a implementação bem-sucedida da TOC, é importante identificar e compreender as restrições e priorizá-las de acordo com o seu impacto no principal objetivo da organização [78].

### **Passo 2: Explorar a Restrição**

Após a identificação da restrição é necessário decidir como explorar a restrição, que consiste em extrair o máximo da capacidade da restrição para obter o maior *output* possível, sem eliminar as limitações desta, i.e., tornar cada minuto de operação da restrição o mais eficaz possível para direcionar o Sistema ao seu objetivo [2]. Nesta fase, podemos questionar [77]: *“O que pode ser feito para conseguir o máximo da restrição, sem nos comprometermos com mudanças ou upgrades potencialmente caros?”*

### **Passo 3: Subordinar o Sistema**

O terceiro passo tem como objetivo suportar a decisão tomada no Passo 2, i.e., o Sistema é subordinado à restrição.

Após a identificação da restrição (Passo 1) e decidir o que fazer com ela (Passo 2), devemos adaptar o Sistema a uma configuração que permita que a restrição opere com a sua eficiência máxima [77]. Nesta fase, o foco é a gestão dos recursos não-restritivos de modo que o seu comportamento esteja sincronizado com o do recurso restritivo. Isto significa que será necessário sacrificar a capacidade dos recursos não-restritivos à capacidade máxima da restrição de forma a garantir que a nova configuração do Sistema vá ao encontro da estratégia implementada para a gestão da restrição [96]. Depois de subordinar o Sistema à restrição, é preciso avaliar os resultados das nossas ações e questionar *“A restrição ainda está a limitar a performance do Sistema?”* Em caso afirmativo, é preciso avançar para o passo seguinte. Em caso de resposta negativa, segue-se para o último passo (Passo 5) [77].

### **Passo 4: Elevar a Restrição**

Caso seja necessário proceder a este passo, então significa que os Passos 2 e 3 não foram suficientes para eliminar a restrição identificada. “Elevar” a restrição significa que todas as medidas necessárias para eliminar a restrição são tomadas. Nesta fase são consideradas grandes mudanças no Sistema. Esta etapa pode envolver um investimento considerável em tempo, energia e dinheiro. Assim, é preciso ter a certeza que não se consegue eliminar a restrição com a execução dos dois Passos anteriores. Com esta fase concluída, a restrição inicial é quebrada e outro fator, dentro ou fora do Sistema, irá tornar-se a nova restrição [77].

### Passo 5: Voltar ao Passo 1 “Atenção à Inércia”

Quando a restrição é eliminada, no Passo 3 ou 4, é necessário voltar ao Passo 1, i.e., o quinto passo renova o ciclo de melhoria. Atualmente, os Cinco Passos de Focalização evoluíram para o *POOGI*. Observando o Quadro (Tabela 2.7), é possível entender de que forma é que os 5FS estão diretamente relacionados com as três questões básicas [2].

Para além dos 5FS, existem dois pré-requisitos (i) definir o Sistema em estudo e o(s) seu(s) objetivo(s) e (ii) determinar as medidas de desempenho do Sistema de forma a concretizar a implementação da TOC [101]. Os 5FS foram propostos para garantir que a Gestão direcione a sua atenção para o que realmente importa: a melhoria do desempenho da restrição. O *POOGI* pode ser aplicado a qualquer processo, em qualquer nível de gestão e qualquer tipo de organização empresarial.

Tabela 2.7 Relação entre os 5FS e as três questões básicas

Questão Básica	Cinco Passos Fundamentais
<i>O que mudar?</i>	Passo 1: Identificar a Restrição Passo 5: Voltar ao Passo 1
<i>Mudar para o quê?</i>	Passo 2: Explorar a Restrição Passo 3: Subordinar o Sistema
<i>Como causar a mudança?</i>	Passo 4: Elevar a Restrição

### Os Níveis de Resistência

Bob Fox, antigo presidente do *Goldratt Institute*, afirmou: “(...) o verdadeiro desafio é a resistência à mudança uma vez que se já se sabe onde atuar e como o fazer” [102]. As pessoas resistem naturalmente à mudança [103]. Assim, a maioria das iniciativas de mudança muitas vezes falham devido à resistência das pessoas. A resistência à mudança é estrategicamente relevante para a aplicação da TOC, pois a resistência é o que impulsiona a gestão da mudança através da aplicação das suas ferramentas [7]. A TOC sugere um processo de *buy-in* que consiste no planeamento e apresentação, de forma minuciosa, de uma mudança (i.e., solução) a terceiros de forma a conduzi-los a um consenso total sobre a mesma [87]. O processo foi desenvolvido para ultrapassar as “Camadas de Resistência”, *Goldratt-Ashlag* [103] compara o processo de *buy-in* ao processo de descascar as diversas camadas de uma cebola pois é mais fácil imaginar os diversos desafios que devem ser superados até chegar ao cerne da questão: a adesão de terceiros à mudança.

Os níveis de resistência à mudança têm origem nas Três Questões Básicas que representam o processo de *buy-in*, destacando o que deve ser incluído no processo e a ordem pela qual deve ser executado. As Três Questões Básicas constituem as principais “Camadas de Resistência” à mudança e devem ser ultrapassadas, uma após a outra, para conseguir o consenso de todas as partes, vide Figura 2.5.

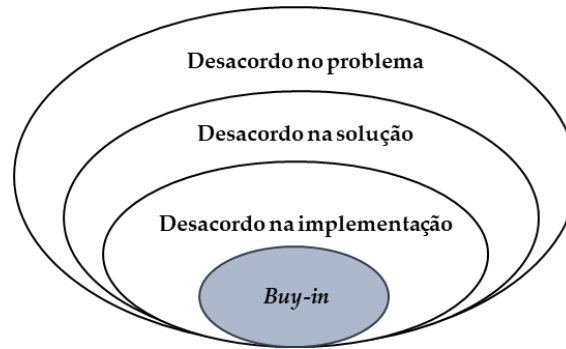


Figura 2.5 As (Três) Principais Camadas de Resistência à Mudança  
Fonte: Goldratt-Ashlag (2010)

As Três Questões Básicas são a essência deste modelo. No entanto, quando se examina detalhadamente as três camadas, é possível subdividi-las em mais camadas. Inicialmente, o modelo foi desenvolvido para ultrapassar seis níveis de resistência apresentados de seguida:

1. Desacordo no problema;
2. Desacordo na solução;
3. Desacordo na capacidade da solução em resolver o problema;
4. Perceção de que solução pode resultar em efeitos negativos significativos;
5. Perceção da existência de obstáculos à implementação da solução;
6. Existência de medos não verbalizados.

Recentemente, com a evolução das Questões Básicas para completar o ciclo POOGI foram identificadas nove “Camadas de Resistência” que expressam o desacordo com as questões: “Porquê mudar?”, “O que mudar?”, “Mudar para o quê”, “Como causar a mudança” e “Como medir e sustentar a mudança?” [87]. A resistência à mudança, que pode ser identificada pelas nove camadas, pode ser ultrapassadas com a remoção sucessiva de cada camada, baseando-se na sequência das Questões básicas e aplicando as ferramentas lógicas dos TP. Na Figura 2.6, é possível observar a relação entre as Questões Básicas, os Níveis de Resistência e os *Thinking Processes* [103].

As camadas de resistência orientam o processo de *buy-in* e atribuem aos responsáveis pela mudança uma sensação de controlo e foco ao longo de todo o processo. Com o entendimento das diferentes camadas é mais fácil gerir as expectativas de terceiros e promover o consenso em relação à mudança proposta.

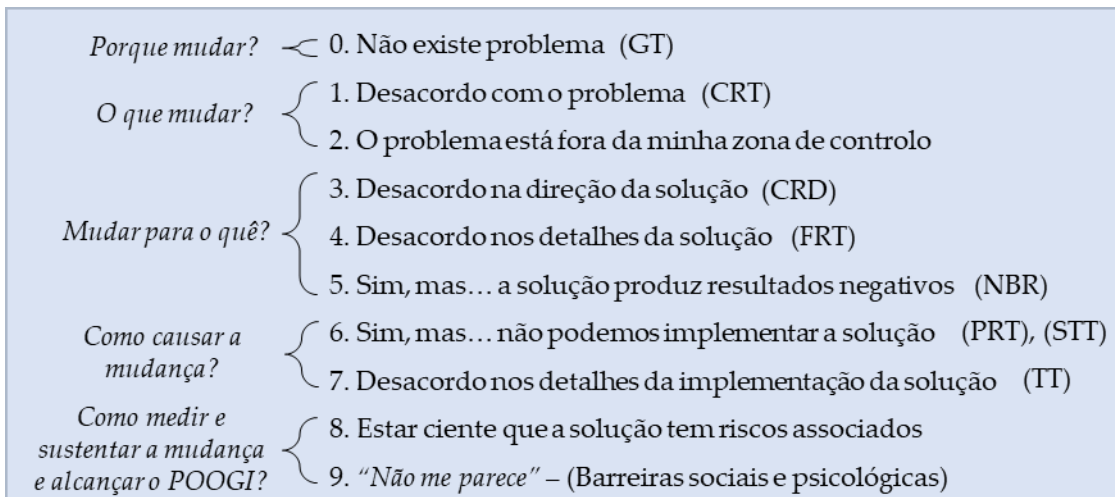


Figura 2.6 Os 9 Níveis de Resistência e a sua relação com os TP e as questões fundamentais

### 2.2.1. *Thinking Processes* da Teoria das Restrições

Em 1994, com a publicação do livro *"It's Not Luck"* [80], Goldratt apresentou os *Thinking Processes*. Os TP são constituídos por um conjunto de ferramentas lógicas que podem ser utilizadas individualmente ou combinadas e permitem dar resposta, sequencialmente, às Três Questões Básicas acerca da gestão da mudança. Os *Thinking Processes* permitem (i) identificar os sintomas (problemas) que fornecem evidências em como o Sistema não está a ter um desempenho tão bom quanto desejado, (ii) determinar as causas dos sintomas e (iii) descobrir quais as ações necessárias para eliminar as causas e como as implementar [104]-[106].

Os *Thinking Processes* são constituídos pelas seguintes ferramentas lógicas: a *Current Reality Tree* (CRT), a *Evaporating Cloud* (EC), a *Future Reality Tree* (FRT), a *Prerequisite Tree* (PRT) e a *Transition Tree* (TT). Goldratt adicionou a *Strategy and Tactics Tree* (STT) que é a última ferramenta da sequência dos TP a ser implementada. Mais recentemente, Dettmer contribuiu com a *Goal Tree* (GT) [73], [77], [107]. As ferramentas TP estão todas interrelacionadas visto que o *output* de uma é utilizado como o *input* de outra(s). O esquema abaixo, Figura 2.7, apresenta a relação dos diagramas lógicos com as Questões básicas e a aplicação inerente dos 5FS. Este esquema estabelece as diretrizes para aplicação completa e prática da TOC-TP [107], [108].

Os *Thinking Processes* representam uma metodologia focada na eliminação dos efeitos indesejáveis (UDE) observados no Sistema. Em vez de eliminá-los um por um, ou utilizar o princípio de Pareto<sup>7</sup>, os TP assumem que existem interdependências entre os UDE e que existe uma causa comum ou *core problem* para todos os eles - a restrição [73].

<sup>7</sup> O princípio de Pareto sugere 80% dos efeitos (problemas) de um Sistema são originados por 20% das causas.

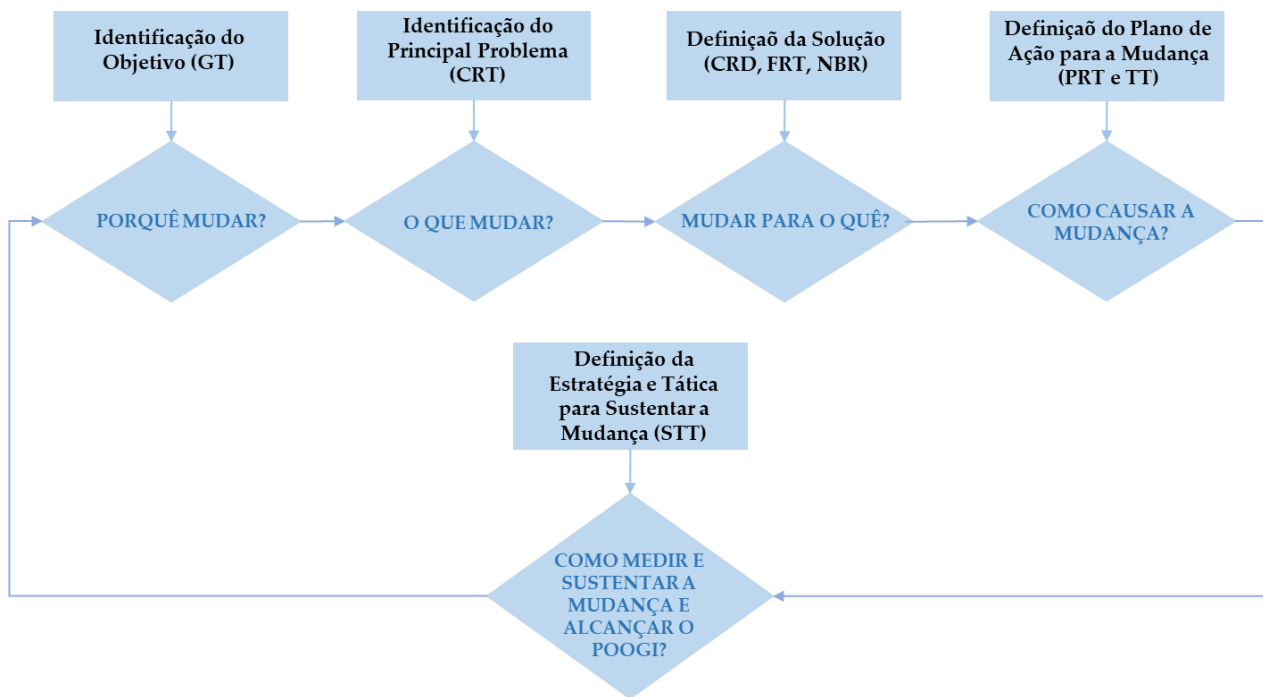


Figura 2.7 *Framework* da aplicação da TOC-TP  
 Fonte: Gaspar (2019)

Tratar um UDE por si só é como colocar um penso adesivo numa ferida infetada: não faz nada em relação à causa da infecção, por isso o benefício corretivo do penso é apenas temporário. Eventualmente, a infecção reaparece porque a causa da infecção nunca foi tratada. Assim, a eliminação de UDE dá uma falsa sensação de segurança, é necessário identificar e eliminar uma causa-raiz que elimina não só, todos os UDE originados pela mesma, mas também pode impedir o retorno dos mesmos [77].

Segundo Mabin & Baldestone [109], o potencial dos TP é definido por duas características: (i) a capacidade de resolver problemas de qualidade e de produtividade relativamente abstratos que se manifestam através de restrições políticas e (ii) a capacidade de abranger as relações de interdependência entre todos os componentes de um Sistema. Rahman [95] afirmou que a aplicação dos TP é especialmente eficaz na eliminação de restrições políticas. Esta capacidade das ferramentas TP é considerada particularmente importante porque a maioria das restrições físicas são desencadeadas por restrições políticas e é difícil, geralmente, identificar este tipo de restrições em Sistemas.

No entanto, por vezes, as restrições são de natureza política e, nestes casos, o uso das árvores lógicas da TOC é mais apropriado e pode facilitar o diagnóstico dos principais problemas, o desenvolvimento de soluções e um plano de implementação das mesmas [78]. Kim *et al.* [105] argumentam que qualquer responsável pela tomada de decisões que possua o conhecimento das ferramentas TP consegue resolver problemas complexos de forma eficaz e eficiente. Os *Thinking Processes* podem ser aplicados a uma variedade de situações problemáticas em qualquer Sistema [110]. Kim *et al.* identificaram três áreas principais de aplicação: sistemas de negócio, áreas funcionais e setor de serviços [105].

Foi conduzido um levantamento de publicações científicas acerca da aplicação prática dos *Thinking Processes* da TOC, recorrendo a motores de busca como *Scopus*, *Taylor & Francis*, *Emerald Insight* e *EBSCOhost*. As Tabelas 2.8, 2.9 e 2.10, apresentam os casos de estudo recolhidos com o ano de publicação e o domínio de aplicação da TOC-TP [102], [107], [119]-[128], [111], [129]-[131], [112]-[118]. Observando o quadro, é possível concluir que a investigação científica na área é limitada e que os artigos publicados estão predominantemente relacionados com a aplicação da TOC-TP aos domínios de gestão de operações na indústria de serviços. Outro aspeto a salientar é a rara utilização de todas as ferramentas TP na aplicação da metodologia.

Tabela 2.8 Artigos científicos relativos à aplicação das ferramentas da TOC-TP (1)

Autor	Domínio	Ferramentas TOC-TP	Breve Sumário
Cooper & Loe (2000)	Educação (Marketing)	CRT e CRD	Aplicação dos TP na educação (universitária) - área de <i>Marketing</i> . O artigo apresenta um modelo utilizado em aula para a análise de problemas, descoberta e definição de <i>core problems</i> . Os autores afirmam que, desta forma, fornecem todas as capacidades necessárias de resolução de problemas, tornando os alunos uma mais-valia para as organizações.
Lynn <i>et al.</i> (2001)	Educação (Gestão)	CRT, FRT, PRT e TT	Artigo ilustra como alunos universitários aplicam os diagramas lógicos para esclarecer e formular a estratégia de uma situação hipotética. As ferramentas enfatizam a importância da intuição e de conhecimentos acerca de estratégia e fornecem um método estruturado para desenvolver soluções criativas.
Rahman, S. (2002)	Cadeia de Abastecimento	CRT	Aplicação da TOC-TP para a identificação dos os fatores críticos de sucesso na gestão da cadeia de abastecimentos. Os resultados sugerem que a compreensão da natureza da cadeia de abastecimento através de relações causa-efeito é vital para a formulação de estratégias de crescimento da mesma. Conclui, também, que a visão limitada da gestão não permite apreciar a importância das medidas de desempenho do Sistema como um todo.
Taylor & Miller (2004)	Gestão de Serviços Bancários	CRT e CRD	Artigo ilustra a identificação dos efeitos indesejáveis associados a aquisições e fusões entre bancos como solução para aumentar a participação no mercado ( <i>market share</i> ) da organização bancária. Neste caso, o dilema está relacionado com a tomada de decisão em adquirir/fundir ou não com outro banco. Duas injeções foram propostas, através da construção da CRD, para resolver o conflito.
Scoggin <i>et al.</i> (2003)	Produção na Indústria Eletrónica	CRT, FRT e TT	O caso demonstra como uma Equipa de colaboradores aplicou os diagramas lógicos da TOC para descrever e documentar a realidade do Sistema, identificar o principal conflito e respetivo <i>core problem</i> , propor mudanças para lidar com a restrição e fazer a transição da organização por meio das mudanças propostas. A equipa concluiu que a restrição do Sistema era a mão-de-obra, caracterizada pela sua natureza política, obrigando a gestão a modificar as práticas e políticas de negócios atuais.
Chaudhari & Mukhopadhyay (2003)	Cadeia de Abastecimento na Indústria de Avicultura	CRT, CRD e FRT	Artigo descreve a aplicação dos diagramas da TOC para definir as ações necessárias para melhorar o negócio de avicultura. Os TP permitiram o desenvolvimento de soluções para aumentar o lucro e o ganho. A organização adotou novas políticas de venda, novas medidas de desempenho ( <i>throughput accounting</i> ) e novas estratégias de transporte de mercadoria. Foram observadas melhorias significativas em toda a cadeia de abastecimento.
Choe & Herman (2004)	Gestão (Programas Organizacionais)	CRT e CRD	Artigo ilustra o papel da TOC-TP na análise e resolução de situações urgentes de mudança organizacional. A metodologia fornece uma estratégia para as equipas de gestão que são confrontadas com programas organizacionais difíceis e que trabalham para resolver uma série de questões, desde dinâmicas de gestão organizacional a interpessoal.
Shoemaker & Reid (2005)	Gestão de Serviços Públicos	CRD e FRT	Caso de estudo que aplica o CRD para eliminar os conflitos através da identificação de uma mudança da estratégia da organização através da expansão da capacidade da mesma com a utilização de recursos não tradicionais. A injeção foi validada pela FRT que mostrou que a implementação da injeção iria resultar nos efeitos desejados - realizar o serviço sem desperdício e atender prontamente às necessidades dos clientes.

Tabela 2.9 Artigos científicos relativos à aplicação das ferramentas da TOC-TP (2)

Autor	Domínio	Ferramentas TOC-TP	Breve Sumário
Lin, Z. (2009)	Gestão da Segurança no Trabalho	CRT, CRD e FRT	Com as ferramentas TP, o desempenho de segurança pode ser melhorado e os acidentes de trabalho e as perdas indiretas podem ser controlados e reduzidos consideravelmente. O <i>core problem</i> foi identificado como a falta de capital para investimentos no sistema de gestão de segurança. Com apenas três injeções é possível mudar o Sistema para que este alcance os resultados desejados
Seurken, K. (2010)	Educação (TOCfE)	-	As ferramentas TP podem ser utilizadas por professores e alunos e têm a capacidade de motivar os alunos a raciocinar e a comunicar com clareza. As ferramentas permitem que os alunos de todas as idades e níveis de escolaridade assumam a responsabilidade pela sua aprendizagem e comportamento.
Dalci & Kosan (2012)	Gestão Hoteleira	GT, CRT, CRD, FRT, NBR	As ferramentas TOC-TP oferecem aos gerentes de hotéis uma oportunidade para formular estratégias preventivas a fim de eliminar a possibilidade de falhas de serviço, mas também oportunidade de tomar ações corretivas para reduzir o impacto das falhas de serviço existentes. Neste caso específico, seria possível eliminar os impactos existentes como a insatisfação com o trabalho e a elevada rotação de pessoal.
Chou <i>et al.</i> (2012)	Cadeia de Abastecimento na Indústria Aeroespacial	CRT e FRT	Através da TOC-TP, são diagnosticados os UDE do Sistemas de gestão de materiais e identificado o <i>core problem</i> , bem como as ações e políticas de gestão confluantes. Com a proposta de soluções para a eliminação de políticas de gestão de <i>stocks</i> que estão a criar conflitos, é prevista uma melhoria no desempenho do sistema de gestão de materiais.
Taylor & Nayak (2012)	Gestão de Serviços de Saúde	CRT, CRD e FRT	A aplicação dos TP possibilitou a identificação dos UDE de uma unidade de Urgências, como por exemplo: a comunicação com os pacientes, tempos de espera, a gestão de informação, etc. As soluções propostas focam-se nas seguintes áreas: triagem, educação dos pacientes quanto aos serviços prestados, comunicação com os clientes e retenção de colaboradores. Com as soluções propostas, prevê-se ser possível aumentar a eficiência da unidade das Urgências e os resultados financeiros do hospital.
Abdi <i>et al.</i> (2014)	Inovação (Desenvolvimento Tecnológico)	CRT	Identificação de problemas sistemáticos em Sistemas Nacionais de Inovação (NIS) através da aplicação da ferramenta lógica CRT. Através da eliminação das restrições (i.e., problemas) será possível a melhoria da eficiência do processo de inovação. Para trabalhos futuros é sugerida a construção do CRD para reconhecer o principal conflito na NIS.
A. Amonge (2015)	Gestão de Serviços de Saúde	CRT, CRD e FRT	Identificação da principal restrição de uma unidade de Urgências. A TOC-TP contribui para o desenvolvimento de soluções para os problemas da unidade das Urgências. A metodologia fornece uma estrutura para que os colaboradores dos hospitais apresentem resultados oportunos com qualidade e que promovam o ganho financeiro da organização.
Pergher <i>et al.</i> (2016)	Gestão de Serviços de Saúde	CRT	Caso de estudo propõe uma abordagem de diagnóstico e melhoria baseada na TQM para aplicação em sistemas de serviços de saúde oncológicos. A abordagem integra os pontos fortes das metodologias FMEA e a ferramenta lógica CRT. A CRT foi utilizada para identificar as causas primárias da baixa velocidade de atendimentos e para compreender as relações causa-efeito que unem os sintomas (problemas) primários às respetivas causas-raiz

Tabela 2.10 Artigos científicos relativos à aplicação das ferramentas da TOC-TP (3)

Autor	Domínio	Ferramentas TOC-TP	Breve Sumário
Akman & Senol (2016)	Gestão de Operações (Programas Educacionais)	CRT, CRD e FRT	Aplicação dos TP na identificação de problemas e respetivas soluções para a implementação do Processo de Bolonha na Turquia – processo de reconstrução e qualidade na educação. Nesta situação, a restrição é causada por políticas e comportamentos, o que dificulta a identificação da causa-raiz e o que deve ser feito para a eliminar. Os TP são um método adequado para especificar e resolver os problemas em fase de implementação do novo sistema.
Lowalekar & Ravi (2017)	Gestão de Serviços de Saúde	CRT, CRD e FRT	Aplicação da TOC-TP para determinar a causa-raiz responsável pelos principais problemas do Banco de Sangue e identificar os conflitos responsáveis pelo mau desempenho do mesmo. Uma solução simples, mas poderosa, mas poderosa, foi apresentada para eliminar a restrição do Sistema. A FRT desenvolveu demonstrou como a solução proposta irá reduzir a escassez de sangue e os níveis de desperdício independentemente de coletar um menor número de unidades em campos de doação.
Eidelwein <i>et al.</i> (2018)	Produção	CRT, CRD e FRT	Artigo apresenta uma análise às causas-raiz críticas que inibem as organizações da área de produção de obter um crescimento sustentável, evidenciando como a estratégia de modularização pode contribuir nesta área. Apresenta como principais problemas: falta de competitividade no mercado de atuação, a necessidade de fornecer uma variedade de produtos e a gestão da complexidade de produtos e processos.
Mabin <i>et al.</i> (2018)	Gestão de Serviços de Saúde	CRD, FRT, NBR e PRT	O Estudo foi realizado num hospital e os TP foram aplicados para representar a situação problemática em análise e identificar os principais problemas e investigar soluções. Com base na análise TOC foi implementado um "projeto teste" que resultou em melhorias significativas nos tempos de espera, na satisfação dos clientes, na carga de trabalho e na satisfação de colaboradores.
Bauer <i>et al.</i> (2019)	Gestão de Serviços de Saúde	CRT e CRD	Aplicação da TOC-TP permitiu diagnosticar problemas no Sistema. A abordagem proporcionou uma visão sistemática e integrada das perdas nos processos organizacionais e indicou as etapas a serem priorizadas a fim de eliminá-las.
Modi <i>et al.</i> (2019)	Cadeia de Abastecimento na Indústria Metalomecânica	CRT	Artigo apresenta uma abordagem holística da TOC. As principais restrições foram identificadas nas áreas de produção, distribuição e projetos. A CRT expôs as causas-raiz responsáveis pela maioria dos problemas da cadeia de abastecimento. Foram implementadas soluções TOC nas áreas de finanças e medidas de desempenho (TA), produção (DBR), distribuição ( <i>replenishment solutions</i> ) e projetos (CC).
Gaspar <i>et al.</i> (2019)	Gestão de Operações (Programas Organizacionais)	GT, CRT, CRD, FRT, NBR, PRT e STT	Aplicação da TOC-TP à gestão de programas <i>Lean</i> operacionais com o objetivo de analisar a gestão do programa Lean e encontrar a restrição que inibe o sistema de atingir o melhor nível de desempenho, de forma a apoiar o desenvolvimento de soluções de melhoria que possam resolver as restrições identificadas e sustentar as mudanças propostas ao longo do tempo.
Cox, J. (2021)	Gestão de Serviços de Saúde	CRT, CRD e FRT	Artigo que demonstra a utilização de três ferramentas TP para identificar e resolver o principal problema da calendarização de consultas. Este caso de estudo identifica o <i>core problem</i> da execução de sistemas de calendarização de em pacientes ambulatoriais e fornece um processo genérico para o desenvolvimento de sistemas eficazes de calendarização de consultas.

## O Raciocínio Lógico da TOC-TP

As ferramentas da TOC-TP baseiam-se em três tipos de lógica diferentes, duas estão relacionadas com a lógica causa-efeito: a lógica de suficiência e de condição necessária. O terceiro tipo de lógica está associado às Categorias de Reserva Legítima (CLR) que consistem em oito regras lógicas que verificam a validade das relações lógicas presentes nos diagramas lógicos.

Os diagramas CRT, FRT e TT baseiam-se na lógica de suficiência. Esta lógica implica que as causas são suficientes para produzir o efeito [77]. Estes diagramas consistem em conjuntos de declarações simples que estão vinculadas a relações causa-efeito, que podem ser lidas da seguinte forma: “*Se A, então B*”. Existem três tipos de condições de suficiência [6], [18], [132]:

- A é suficiente para causar B (Figura 2.8a)
- A e B em conjunto são suficientes para causar C (Figura 2.8b)
- A e B separadamente contribuem para causar C (Figura 2.8c)

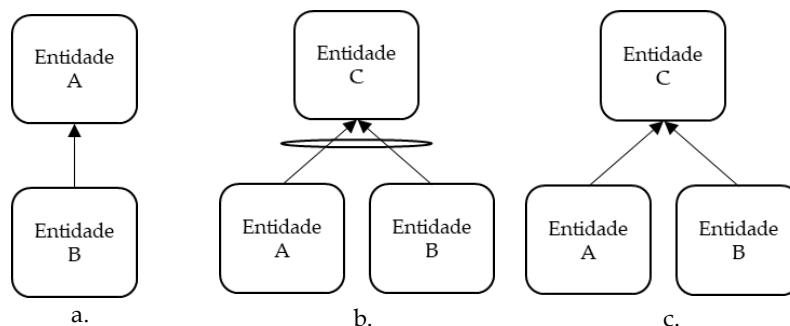


Figura 2.8 Relações causa-efeito (lógica de suficiência)

Os diagramas GT, CRD e PRT baseiam-se na lógica de condição necessária. A validade das relações causa-efeito presentes neste tipo de diagrama depende do cumprimento dos requisitos mínimos necessários [2]. A lógica de necessidade implica que não se pode realizar a entidade resultante sem a precedente [77]. A lógica é lida da seguinte maneira: “*De forma a obter A devemos ter B*” (Figura 2.9) e existem sempre um ou mais pressupostos que justificam a existência de uma ligação lógica entre as entidades A e B [18], [132], [133].

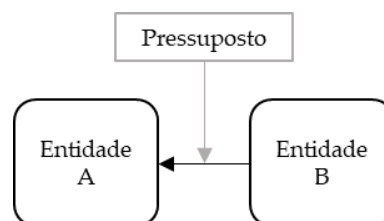


Figura 2.9 Relação causa-efeito (lógica de condição necessária)

Segundo Dettmer [77] as CLR são consideradas a “cola lógica” que une os diversos diagramas lógicos da TOC. As CLR consistem em oito regras lógicas que regem a aceitabilidade e validação das relações causa-efeito em cada um dos diagramas. As CLR foram desenvolvidas para verificar a validade das relações causais no processo de construção dos diagramas lógicos [105]. O conhecimento profundo das CLR é essencial para o sucesso da aplicação das árvores lógicas da TOC. As oito regras lógicas são apresentadas e descritas de seguida [77], [134]:

<p><b>1. CLAREZA</b> Procura estabelecer a compreensão total de uma palavra, ideia, declaração ou relação causa-efeito.</p> <p><b>2. EXISTÊNCIA DE ENTIDADE</b> Determina a existência entidades (causa ou efeito) válidas, completas e devidamente estruturadas.</p> <p><b>3. EXISTÊNCIA DE CAUSALIDADE</b> Procura estabelecer uma relação lógica válida e inevitável entre a causa e o efeito. Não devem surgir dúvidas quanto ao facto da causa proposta produzir o efeito declarado.</p> <p><b>4. SUFICIÊNCIA DE CAUSA</b> Sugere a existência de causas dependentes que contribuem para a produção de um mesmo efeito particular.</p> <p><b>5. CAUSA ADICIONAL</b> Sugere a existência de causas separadas e independentes que produzem o mesmo efeito.</p> <p><b>6. RELAÇÃO CAUSA-EFEITO</b> Verifica se não existe desalinhamento dos conceitos causa e efeito, e.g., o efeito pode ser declarado incorretamente como causa.</p> <p><b>7. EXISTÊNCIA DE EFEITO PREVISTO</b> Verifica a existência de um efeito adicional esperado e válido produzido por uma causa particular.</p> <p><b>8. TAUTOLOGIA</b> Lógica circular, i.e., um efeito particular que justifica a existência da causa que o produz.</p>
--

Figura 2.10 As oito regras lógicas das Categorias de Reserva Legítima

O que diferencia as ferramentas TP de ferramentas tradicionais de resolução de problemas (e.g., Diagrama Ishikawa) são as diversas regras lógicas acima descritas que são utilizadas para examinar e corrigir erros comuns na lógica de construção dos diagramas com o objetivo de clarificar e fortalecer a lógica dos mesmos [135]. Goldratt desenvolveu as CLR para facilitar a comunicação durante o desenvolvimento das ferramentas TP e Dettmer [77] evidencia que a utilização das CLR é uma mais valia para comunicar discordância com terceiros de forma não ameaçadora, promovendo uma melhor compreensão em vez de animosidade.

## Os Diagramas Lógicos da TOC-TP

Dettmer [77] apresenta uma abordagem mais prática da metodologia *Thinking Processes*, afirmando que é necessário definir minuciosamente o Sistema que se pretende melhorar, bem como os seus limites. Uma vez definidos os limites do Sistema em análise, é mais fácil compreender quais os elementos que desencadeiam o problema, quais se encontram dentro dos limites do Sistema e quais residem fora deste. Conseguir diferenciar os elementos internos dos externos facilita a identificação de quais os que estão dentro das diferentes zonas: “Zona de Controlo”, “Esfera de Influência” e “Ambiente Exterior” (zona onde estão os elementos fora da “nossa” influência).

A zona de controlo é definida como sendo tudo o que aquilo que define o Sistema e sobre o qual a autoridade unilateral de implementação de mudança está ao alcance da operação do Sistema. Esta zona é, em geral, mais limitada.

A esfera de influência é uma zona que tem um perímetro arbitrário, é uma zona em que apenas se pode persuadir, existe algum nível de influência, mas não controlo total. A área da esfera de influência é substancialmente maior que a da zona de controlo. Salienta-se o facto da área compreendida pela esfera de influência não ser fixa. Nos Sistemas em que se opera é possível influenciar muito mais do que controlar [77], [86] .

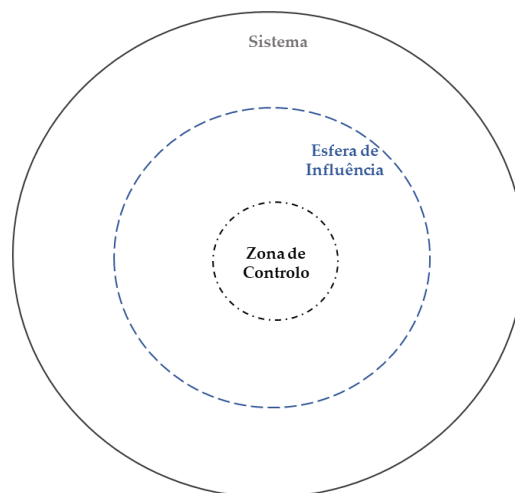


Figura 2.11 Limites de um Sistema

Os *Thinking Processes* são constituídos por cinco diagramas lógicos e pelas regras lógicas da CLR. Mais recentemente, com o estabelecimento do ciclo POOGI, foram desenvolvidas mais duas ferramentas TP: o Mapa dos Objetivos Intermédios (IO Map), agora conhecida como Árvore de Objetivos (*GT*), desenvolvida por Dettmer. Por sua vez, Goldratt contribui com a última ferramenta da sequência dos TP com a *Strategy&Tactics Tree (STT)*. A Figura 2.12 apresenta o propósito das ferramentas TP e as respetivas relações com as Questões Básicas. No presente subcapítulo serão apresentadas e analisadas sequencialmente as ferramentas lógicas TOC-TP.

THINKING PROCESSES	Porquê Mudar?	O que mudar?	Mudar para o quê?	Como causar a mudança?	Como sustentar a mudança e alcançar o POOGI?
Goal Tree (GT)	Objetivo				
Árvore da Realidade Atual (CRT)		Core Problem			
Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD)		Conflito Principal	Potenciais Injeções		
Árvore da Realidade Futura (FRT)			Injeções Adicionais		
Árvore de Pré-requisitos (PRT)				Objetivos Intermédios	
Árvore de Transição (TT)				Ação	
Árvore Estratégia&Tática (SST)	Comunicação e Sincronização				

Figura 2.12 Síntese das ferramentas lógicas TOC-TP

### 2.2.1.1. Árvore de Objetivos (GT)

Segundo Barnard & Immelman [136], primeiro é necessário admitir que existem problemas que precisam de ser resolvidos e que são esses problemas que estão a impedir que o Sistema atinja o seu objetivo. Na mesma linha de pensamento, Dettmer defende que é preciso saber o que se pretende atingir e defini-lo devidamente antes de determinar o que é preciso mudar. Assim, desenvolveu a Árvore de Objetivos - apresentada no seu livro: *The Logical Thinking Processes: A systems approach to complex problem solving* [77] - que tem como objetivo responder à questão "Porquê mudar?", representando graficamente o objetivo que se pretende alcançar, relacionando-o com os fatores críticos de sucesso (FCS) e com as condições necessárias (CN). Os FCS são considerados os pré-requisitos necessários para atingir o objetivo definido. As CN são definidas como as atividades que precisam de ser completadas de para satisfazer os FCS.

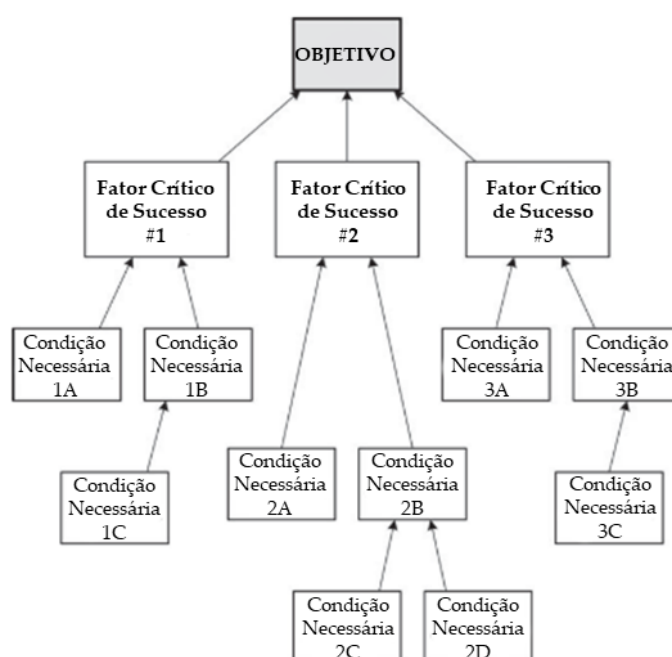


Figura 2.13 Estrutura da Árvore de Objetivos (GT)

Estes elementos estão estruturados na GT, constituindo um mapa visual que representa a situação normativa do sistema, i.e., o que devia estar a acontecer no Sistema.

A Árvore de Objetivos permite um consenso acerca do que é **bom** para o Sistema então, por definição, limita o que pode ser um efeito indesejável. Um UDE é algo que realmente existe, é a evidência mais proeminente de que algo de errado está a acontecer no Sistema. Um UDE é um efeito negativo em relação a um objetivo concreto [129]. Esta ferramenta facilita a identificação dos UDE pois através da análise da mesma e questionando, por exemplo, “*O que está a impedir o alcance deste FCS?*” é possível identificar os UDE que estão a ter um impacto no Sistema, i.e., no objetivo principal, nos FCS e nas CN.

A GT constitui uma referência do desempenho desejado de um Sistema, i.e., o destino para o qual todos os esforços de melhoria do Sistema devem estar direcionados [77]. A Árvore de Objetivos é única para cada Sistema. Cada Sistema tem um único objetivo principal cujas relações de interdependência entre FCS e CN serão, também, únicas consoante o mesmo e o meio em que o Sistema se encontra inserido.

#### 2.2.1.2. Árvore da Realidade Atual (CRT)

*Quanto mais complexa parece ser a situação, mais simples deve ser a solução.*

Eliyahu M. Goldratt

Segundo J. Cox *et al.* [87] uma situação (ou um Sistema), não importa o quão complexo pareça ser inicialmente, é extremamente simples caso se encontre um, ou alguns, pontos de alavancagem (restrição); descobrindo-o(s) então é possível encontrar a simplicidade inerente<sup>8</sup> [111]. A aplicação dos *Thinking Processes* geralmente começa com a identificação das causas-raiz, baseando-se lógica de suficiência “*Se A, Então B*”, através da construção da CRT [18]. As relações causa-efeito entre os diversos efeitos indesejáveis são representadas na CRT que serve como diagnóstico do Sistema, permitindo compreender o que precisa de ser alterado.

A CRT tem como objetivo representar o estado atual de um Sistema. Esta permite identificar as causas-raiz que desencadeiam a produção dos efeitos indesejáveis, previamente identificados na GT. O corpo da CRT é formado pelas causas intermédias detalhadas que relacionam os efeitos indesejáveis e as causas-raiz, através de relações causa-efeito [78]. É a articulação desta causalidade que explica como as causas-raiz produzem os UDE.

Salienta-se que a CRT não representa a totalidade da realidade do Sistema em análise. O diagrama apenas **reflete a parte identificada como desfavorável**, evidenciando apenas as relações causais que, inevitavelmente, produzem efeitos indesejáveis. A CRT foi desenvolvida com os seguintes objetivos [110], [135]:

- Fornecer a base para compreensão de sistemas complexos;
- Identificar os efeitos indesejáveis exibidos por um Sistema;
- Relacionar UDE através de uma relação de lógica causa-efeito com as causas-raiz;

---

<sup>8</sup> Conceito que defende que a natureza é simples e harmoniosa consigo mesma.

- Identificar, onde possível, um *core problem* que eventualmente produz 70% ou mais dos UDE do Sistema;
- Determinar em que pontos as causas-raiz e/ou *core problem* estão fora da zona de controlo ou esfera de influência definidas;
- Identificar a mudança mais simples que terá o maior impacto positivo no Sistema.

À medida que se constrói esta ferramenta é possível conectar os UDE, através do desenvolvimento de relações causa-efeito, às respetivas causas-raiz. Uma causa-raiz é definida como o início da relação causa-efeito que originará o UDE - que se localizam no fim da árvore. Qualquer CRT apresentará sempre mais do que uma causa-raiz, por vezes bastantes. É muito provável que uma causa-raiz seja a origem de um número substancial de UDE. A CRT permite analisar o caminho das relações causa-efeito desde os UDE até às respetivas causas-raiz e identificar quais é que são responsáveis pela produção do maior número de UDE. Uma vez que essas causas-raiz são eliminadas ou minimizadas, a maioria dos UDE desaparecem de modo a melhorar o desempenho do Sistema - atingindo o objetivo definido na GT. Após a construção da CRT é necessário refletir acerca das entidades que compõem a mesma, identificar e, por sua vez, selecionar quais as causas-raiz que serão eliminadas [78]. Na Literatura, existem duas abordagens propostas que se encontram descritas de seguida:

#### **Abordagem de Goldratt**

Desde o início do desenvolvimento das ferramentas TP, a CRT tinha como objetivo encontrar o que Goldratt denominou de *core problem* - a política, prática ou procedimento responsável pela maioria dos UDE de um Sistema, Portanto, considerando a premissa fundamental da TOC, o *core problem* identificado na CRT corresponde à restrição do Sistema em análise[77].

Goldratt apresentou o critério "70 Percent" que defende que um verdadeiro *core problem* é responsável por 70% ou mais dos UDE de um Sistema [77]. Na CRT, o *core problem*, seria identificado como o vértice da árvore que apresenta a forma em "V", como é possível observar na Figura 2.14.

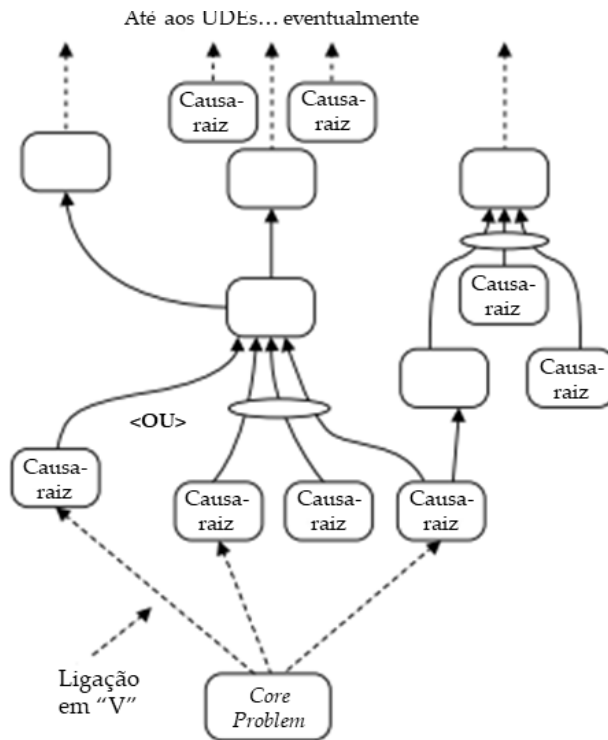


Figura 2.14 Identificação do *core problem* na CRT

### Abordagem de Dettmer

Segundo Dettmer, após o desenvolvimento da CRT não se foca somente num único *core problem*, mas sim num conjunto de causas-raiz críticas (CRC). Uma CRC é definida como uma política, prática ou comportamento predominante que constitui o nível mais baixo de causalidade na atual realidade do Sistema dentro da esfera de influência definida. Dettmer não invalida a existência de um *core problem*, no entanto, caso este seja demasiado geral ou se encontre fora da zona de influência em análise, não poderá ser solucionado. Defende, assim, a concentração de esforços em algumas CRC que poderão ser solucionadas pois encontram-se dentro da esfera de influência [77].

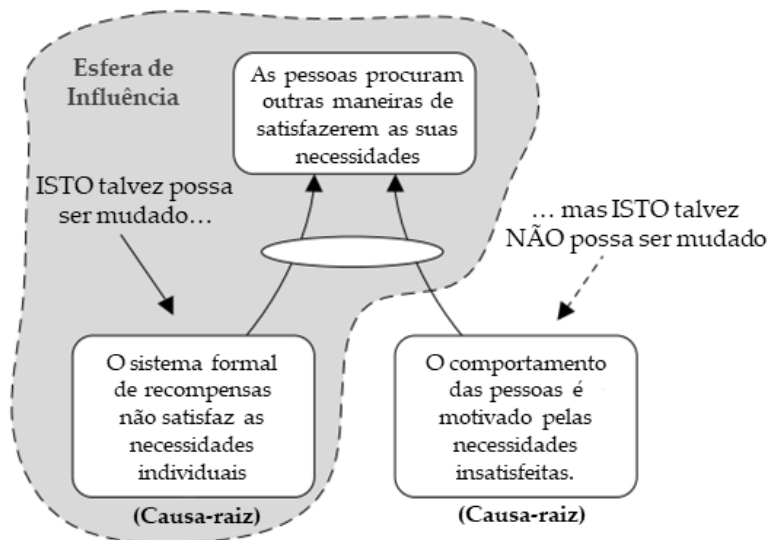


Figura 2.15 Identificação de CRCs na CRT

A estrutura da CRT evidencia a existência de relativamente poucas causas em níveis mais baixos da Árvore que resultam em muitos efeitos localizados em níveis mais altos da mesma [131], salientando-se, assim, as poucas causas-raiz e/ou *core problem* a eliminar para mover o Sistema na direção do seu objetivo.

Esta árvore lógica pode incluir *loops* de reforço negativo. Este tipo de *loop* que é originado quando um UDE reforça a causa-raiz que o produz, constituindo um ciclo vicioso que aumenta o efeito do UDE a cada iteração do *loop* [77]. No entanto, a existência de um *loop* de reforço negativo pode ser considerado proveitoso pois cria possibilidades para o desenvolvimento de ações corretivas, i.e., uma ação que afete esse *loop*, terá um efeito significativo no desempenho do Sistema [6].

A CRT baseia-se na lógica de suficiência: “*Se [causa]..., então[efeito]*”, e os passos para a sua construção estão expostos no Anexo B. A árvore apresenta uma estrutura *top down* pois é a partir dos sintomas dos problemas observados – UDE – que o raciocínio lógico é utilizado para identificar e descrever as relações causa-efeito que culminarão nos principais problemas (causas-raiz) do Sistema, situados na parte inferior do diagrama. A CRT valida a existência dos principais problemas e representa uma oportunidade para o reconhecimento de políticas formais e informais e padrões sistemáticos de comportamentos que perpetuam a existência de UDE.

### 2.2.1.3. Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD)

Uma vez identificado o que mudar, o segundo passo do POOGI consiste em procurar soluções plausíveis para as causas-raiz. Significando isto que para responder à questão: “*Mudar para o quê?*”, Goldratt desenvolveu a *Evaporating Cloud* (EC), também conhecida por Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD). O CRD tem como objetivos [80], [110]:

- Identificar e exibir todos os elementos de uma situação de conflito;
- Identificar os pressupostos subjacentes que justificam que o conflito aconteça;
- Desenvolver injeções de forma a invalidar, pelo menos, um pressuposto e eliminar o conflito.

Como as causas-raiz, o conflito não é óbvio. Um dos princípios da TOC afirma que as causas-raiz costumam ser perpetuadas por um conflito oculto ou subjacente, caso contrário o problema já teria sido resolvido há muito tempo[77], [137].

O CRD foi construído para definir precisamente um problema, facilitando a eliminação do mesmo [131]. Um problema é qualquer coisa que nos impede de atingir um objetivo. Assim, para resolver um problema a partir do CRD é preciso definir o objetivo desejado (A). Seguidamente, é necessário definir os dois requisitos (B e C) que precisam de ser satisfeitos para alcançar o objetivo. Finalmente, para satisfazer estes requisitos são necessários pré-requisitos (D e D’); regra-geral, os **pré-requisitos estão em oposição ou em conflito** [78]. Como é possível observar na Figura 2.16, o diagrama tem cinco setas e cada uma das setas associada a um ou mais pressupostos que justificam a existência da ligação que a seta representa [77].

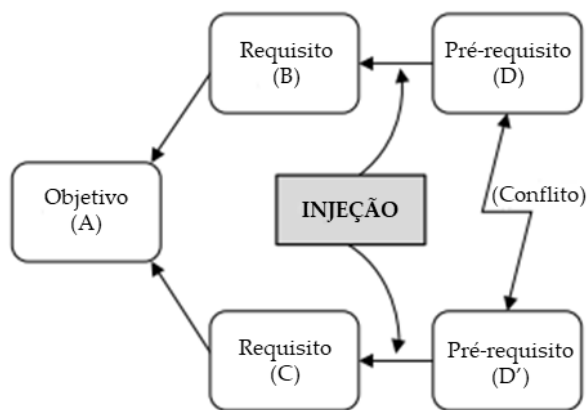


Figura 2.16 Estrutura do CRD

*“Todo o conflito pode ser removido se pudermos encontrar e desafiar os pressupostos errados que estão a causar o conflito.”*

Eliyahu M. Goldratt

Os conflitos são baseados em pressupostos. O CRD é desenvolvido com base na lógica de condição necessária - *“Para ter A, preciso de ter B”* - que permite verbalizar claramente um problema e revelar os pressupostos subjacentes que, embora aceites como válidos, podem ser questionados e sujeitos a invalidação [77], [99].

É necessário analisar cuidadosamente os pressupostos para encontrar os inválidos ou que podem ser invalidados. Segundo Dettmer [77], existe maior probabilidade de encontrar pressupostos inválidos entre os pré-requisitos e os requisitos. No entanto, não se deve ignorar os restantes pressupostos pois a intenção é encontrar o pressuposto mais fácil de quebrar, e este pode encontrar-se entre o objetivo (A) e um dos requisitos (B ou C). Caso algum destes seja inválido ou invalidado através de uma injeção ou ação, o conflito “evapora-se” (daí o nome da ferramenta - *Evaporating Cloud*). Permitindo que os requisitos definidos (B e C) sejam alcançados em simultâneo e resolvendo o conflito sem soluções baseadas em compromisso [78].

Após a identificação dos pressupostos inválidos deve-se proceder ao *brainstorming* de injeções que irão atuar sobre os pressupostos inválidos e que permitirão a resolução dos conflitos.

Uma injeção é uma ação ou condição que invalida um pressuposto, i.e., é como um *bypass* que permite concretizar o objetivo do CRD sem precisar de concretizar os pré-requisitos [99]. Normalmente, é necessária uma injeção para cada pressuposto inválido, pois é raro ter uma que consiga quebrar diversos ou todos os pressupostos inválidos encontrados. Esta ferramenta é considerado um “motor” de criatividade porque facilita o desenvolvimento de ideias inovadoras para potenciais soluções que irão desafiar os pressupostos e permitir a resolução de problemas ou conflitos persistentes [77].

A resolução de problemas não é fácil. Muitas vezes, os problemas já são conhecidos, mas não se sabe como os resolver, geralmente, devido à existência de conflitos que envolvem um

compromisso de várias partes [99]. O verbo “resolver” não significa encontrar um compromisso. Normalmente, os gestores procuram soluções de compromisso (situações parciais de *win-win*) [6], [138]. O compromisso não elimina o problema, apenas garante a existência permanente do mesmo [18], [78]. Segundo Gupta M. *et al.* [137], o CRD proposto por Goldratt fornece uma maneira estruturada e sistemática em como resolver conflitos que resultem em situações *win-win*, auxiliando os gestores a gerir, de forma eficaz, as suas reações a conflitos e fazerem parte da solução do mesmo. As etapas para a construção da EC encontram-se no Anexo B.

#### 2.2.1.4. Árvore da Realidade Futura (FRT)

Goldratt acreditava que todas as soluções propostas para a resolução dos problemas do Sistema deviam ser testadas utilizando a lógica causa-efeito para garantir que estas irão, realmente, substituir os UDE por efeitos desejáveis (DE) e não resultarão em outros resultados negativos indesejados [6]. Assim, Goldratt desenvolveu a Árvore da Realidade Futura (FRT) que visa [77], [80]:

- Garantir que todas as mudanças contempladas irão realmente promover o objetivo e os FCS do Sistema;
- Permitir testar a eficácia das novas ideias antes da alocação de recursos (dinheiro, tempos, pessoas, etc.);
- Determinar se as mudanças propostas irão produzir, de facto, os efeitos desejados sem originar efeitos colaterais negativos;
- Ajudar a tornar os efeitos positivos autossustentáveis através da introdução de *loops* de reforço positivo.

A FRT segue a lógica de condição suficiente (“*Se A, Então B*”), desenvolvendo relações causa-efeito desde as injeções propostas até aos seus resultados (os dez passos para a construção do diagrama estão descritos no Anexo B). A FRT é considerada um modelo de simulação do Sistema futuro pois permite prever de que forma é que as mudanças ao *status quo* irão afetar a realidade do Sistema [6]. É de salientar que a alteração do *status quo* de um Sistema pode resultar em três situações: o Sistema melhora, o Sistema mantém o seu estado atual ou o Sistema piora [77]. No entanto, **a FRT retrata, visualmente, o que tem de ser feito para o Sistema melhorar**, ou seja, para ir ao encontro do objetivo e dos FCS, identificados na GT.

A FRT é caracterizada pela sua flexibilidade visto que as injeções não são pré-determinadas, nem fixas [77]. Existem diversas injeções. A FRT é vista como um modelo de simulação, se as variáveis (i.e., as injeções) mudarem então é possível ver os diversos resultados da simulação, significando isto que é possível redefinir o rumo da realidade futura do Sistema até que este tome o rumo desejado. A FRT é considerada uma ferramenta que permite persuadir os responsáveis pela tomada de decisão a apoiar a implementação de uma solução que produzirá o plano de ação desejado e, conseqüentemente, o resultado final [6], [135].

A FRT pode ser utilizada por si só, sem necessidade do desenvolvimento prévio e sequencial das restantes ferramentas dos *Thinking Processes*. Apesar disso, foi desenvolvida para ser construída após a GT, a CRT e o CRD.

A FRT resultante tem origem numa ou mais injeções e tem como destino os efeitos desejáveis (DEs) que realmente refletem o contrário dos UDE na CRT. As injeções conduzem a um resultado desejado que não existia, produzindo camadas sucessivas de efeitos. Por vezes, **uma só injeção não é suficiente para alcançar o efeito desejável**. Como tal, para manter a lógica de suficiência e o caminho das relações causa-efeito em direção aos DEs, é necessário adicionar novas injeções [77]. À medida que a FRT é desenvolvida, cada injeção proposta e cada ligação causa-efeito é examinada para mostrar, que ao implementar uma solução, os efeitos desejáveis poderão ser alcançados [6].

Por oposição à CRT, a FRT pode e **deve** conter *loops* de reforço positivo que promovem soluções autossustentáveis na realidade futura do Sistema. Quando um DE é deliberadamente direcionado para uma das suas causas – talvez integrada com um outro elemento da realidade do Sistema ou uma injeção – tem como resultado a ampliação da magnitude do efeito (DE) original [77]. Como tal, é importante encontrar *loops* de reforço na FRT fortalecer a estabilidade e sustentabilidade do Sistema futuro proposto.

Outra característica importante da FRT é o facto de apontar as deficiências das soluções, caso existam [135]. Revela, através da ferramenta denominada de Reservas de Ramos Negativos, *Negative Branch Reservations* (NBR), se as injeções propostas originarão novos problemas, para além dos efeitos desejáveis óbvios que irão produzir.

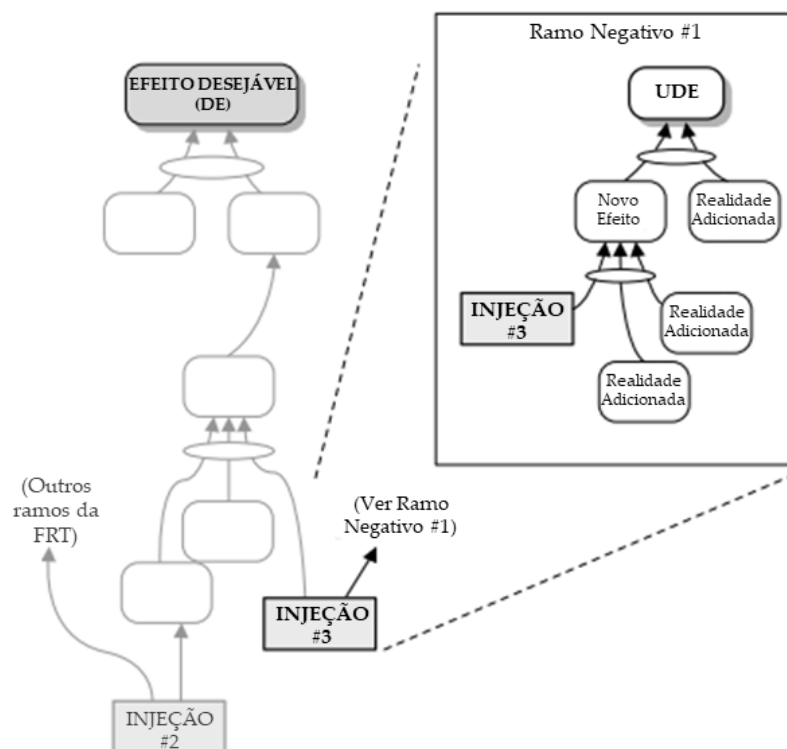


Figura 2.17 Estrutura da NBR

Começando pela parte inferior da FRT, examina-se sistematicamente cada efeito desejado originado pela injeção e pergunta-se *“Para obter este efeito desejado, o que mais pode resultar desta injeção que possa ser prejudicial para o Sistema?”* Caso algum resultado indesejável, proveniente de uma injeção, seja encontrado é necessário expô-lo através do NBR para entender em que ponto das ligações causa-efeito surgiu o problema. Quando desenvolvido, o ramo negativo tem como resultado um UDE [77]. A eliminação do ramo negativo é conseguida através do desenvolvimento de injeções que irão quebrar o ponto em que surgiu a primeira consequência negativa (passos idênticos do desenvolvimento do CRD).

A NBR é uma ferramenta robusta que permite encontrar problemas que podem ser evitados ou agravados durante a implementação da injeção no Sistema real. Assim, **a descoberta de ramos negativos beneficia o Sistema prevenindo o aparecimento de novos efeitos negativos**. Cada NBR descoberta vai melhorar significativamente a sustentabilidade das soluções presentes na FRT resultante [78].

### 2.2.1.5. **Árvore de Pré-requisitos (PRT)**

Um dos princípios da TOC é *“ideias não são soluções”*, significando isto que uma injeção não pode ser denominada de solução até que a sua implementação esteja concluída e o resultado desejado verificado no Sistema [77]. A Árvore de Pré-requisitos (PRT) e a Árvore de Transição (TT) descrita após a primeira, foram desenvolvidas para dar resposta à terceira questão - *“Como causar a mudança?”* - que visa a implementação da mudança.

O objetivo da PRT é identificar os obstáculos à implementação de um objetivo - normalmente uma injeção da FRT - e as ações, denominadas de objetivos intermédios (IO), que eliminam ou neutralizam os obstáculos [130], [137]. A PRT utiliza uma lógica de condição necessária - *“Para ter A, preciso de ter B”* - para estabelecer relações causa-efeito. As etapas de construção da PRT estão no Anexo B.

A PRT tem as seguintes finalidades [6], [135]:

- Identificar obstáculos que impedem o alcance de um objetivo;
- Identificar as ações para superar ou neutralizar o(s) obstáculo(s) de um objetivo;
- Identificar a sequência de ações necessárias para realizar o plano de ação desejado;
- Identificar e descrever etapas desconhecidas para um fim desejado quando não se sabe precisamente como alcançá-lo.

Dettmer [77], afirma ser preciso questionar para verificar a necessidade de construir uma PRT, sendo as duas questões:

- *O objetivo é uma condição complexa?* Caso a resposta seja afirmativa, uma PRT pode ser necessária para sequenciar os objetivos intermédios (IO) para alcançá-lo.

- *Já se sabe o que fazer de forma a atingir o objetivo?* Se a resposta for negativa, uma PRT poderá ajudar a mapear os possíveis obstáculos, os objetivos intermédios (IO) envolvidos para os superar e a sequência dos mesmos.

Goldratt [103] argumenta que mesmo boas soluções não são prontamente adotadas, a menos que primeiro lidemos com os obstáculos à implementação, possibilitando, depois, o desenvolvimento de um plano de ação para alcançar o resultado desejado representado na FRT [130].

A PRT e a FRT estão intimamente ligadas porque muitas, ou todas, as injeções apresentadas na FRT vão necessitar de uma PRT. Conceptualmente, as tarefas e atividades definidas na PRT requerem ação prática de forma a serem concluídas; uma vez que o objetivo da PRT - a injeção - é alcançado, a ligação causa-efeito presente na FRT deve ter como destino o(s) efeito(s) desejável(eis) [77].

#### 2.2.1.6. **Árvore de Transição (TT)**

Como referido, a TT, juntamente com a PRT, responde à questão “*Como causar a mudança?*”. A TT visa a implementação da mudança através do desenvolvimento de um plano de ação lógico [137].

Goldratt desenvolveu a TT para detalhar, passo a passo, o plano de ação a desenvolver para a implementação de injeções. Utilizando a lógica causa-efeito para construir e examinar todos os detalhes do plano de ação permitirá a transição do estado atual para o estado futuro desejado[2], [77].

A TT é caracterizada como uma ferramenta operacional /tática ideal para auxiliar a equipa responsável pela implementação das soluções (pode não ser a mesma que as criou). Para desenvolver a TT é preciso identificar as ações que têm de ser executadas, dado o ambiente atual do Sistema, para atingir os objetivos intermédios (IO) definidos na PRT, vide Figura 2.18.

A TT tem nove objetivos básicos [110], [135]:

- Fornecer um método detalhado para um plano de implementação;
- Permitir a condução eficaz de um processo de mudança;
- Detetar a existência de desvios em direção a um objetivo limitado;
- Adaptar ou redirecionar os esforços, caso haja mudança de planos;
- Expor a razão da necessidade de executar as ações;
- Executar as injeções desenvolvidas no CRD e/ou na FRT;
- Atingir os objetivos intermédios (IO) identificados na PRT;
- Transformar planos conceptuais ou estratégicos em planos de ação táticos;
- Impedir o aparecimento de UDE durante a implementação.

Goldratt apresentou duas abordagens para a construção da TT - a estrutura inicial de quatro elementos que passou para a estrutura de cinco elementos. As diretrizes para a construção da TT estão apresentadas no Anexo B. Os elementos originais constituintes da TT são:

- A condição da realidade existente.
- Uma necessidade insatisfeita.
- Uma ação específica por tomar.
- Um efeito esperado da integração dos três elementos anteriores.

Cada nível da árvore é construído sobre o nível anterior: o efeito esperado (do nível inferior) torna-se a necessidade insatisfeita (do nível superior). Os níveis são desenvolvidos progressivamente até se atingir o objetivo ou um efeito desejável [2]. Em 1995, Goldratt acrescentou um quinto elemento:

- A justificação [lógica] para uma necessidade no nível superior da árvore.

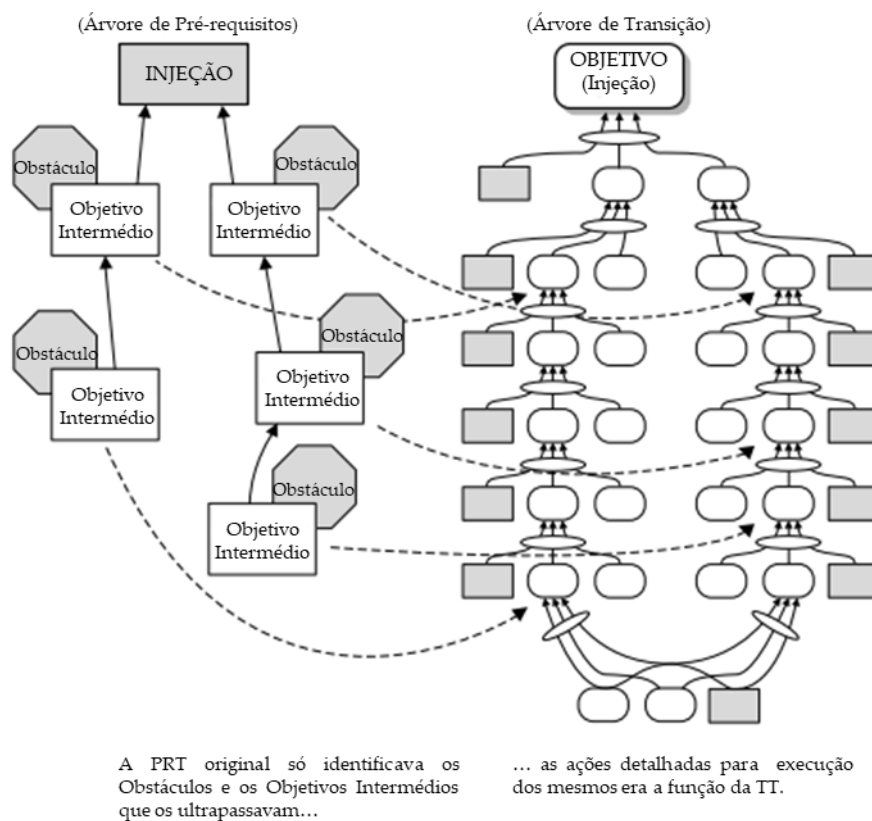


Figura 2.18 Relação entre a PRT e a TT

As árvores PRT e TT complementam-se de modo a proporcionar a resposta à questão básica: *“Como causar a mudança?”*. Foi com base na relação entre a PRT e a TT (vide Figura 2.18) que Dettmer apresentou uma nova abordagem para uma PRT mais completa, seguidamente descrita.

### Abordagem de Dettmer

*“O que devo fazer para alcançar o impossível?”*

Para responder à questão colocada por muitos quando na resolução de um problema complexo, Dettmer apresentou a fusão das duas árvores de Goldratt - a *Árvore de Pré-requisitos* e a *Árvore de Transição* numa só - numa PRT mais robusta [77]. Segundo o autor, durante os 10 anos em que estudou e aplicou os TP, chegou à conclusão de que a TT mostrou ser a ferramenta menos valiosa de todas. As etapas de construção da PRT estão no Anexo B.

Segundo o autor, quando se pondera a execução da mudança, é necessário ter em consideração os seguintes pontos [77]:

- Garantir que o plano de ação desenvolvido vai resultar à primeira – que não irá haver falhas;
- Identificar quais as tarefas a ser concluídas e quais os resultados intermédios alcançados;
- Identificar os possíveis obstáculos e como os eliminar ou neutralizar;
- Saber em que sequência o segundo e o terceiro ponto devem acontecer.

Dettmer defende que a sua versão da PRT é capaz de cumprir todos os pontos acima mencionados, visto que tem como finalidades [77]:

- Identificar todas as atividades que têm de ser realizadas de forma a atingir um objetivo;
- Determinar a sequência das atividades;
- Identificar todos os obstáculos que impedem o alcance de um objetivo - injeção da FRT;
- Identificar as condições necessárias para ultrapassar ou neutralizar os obstáculos identificados;
- Estruturar a execução da FRT identificando as maiores conquistas e *milestones* de soluções complexas para problemas.

Esta árvore utiliza a lógica de condição necessária, como a PRT de Goldratt, e determina o número mínimo ações necessárias para alcançar o objetivo, identifica os possíveis obstáculos que impedem o alcance do objetivo e as respetivas ações necessárias para os ultrapassar.

O objetivo da PRT – injeção da FRT - é finito e limitado e, por isso, implica um horizonte de tempo para a sua conclusão, embora a ferramenta em si não aborde o tempo, apenas a sequência [77]. Na execução de uma atividade complexa, como o desenvolvimento de um projeto, uma das questões levantadas é “*O que devo fazer primeiro?*”, a PRT é uma ferramenta que consegue apresentar a resposta porque tem como função, considerada a mais importante, sequenciar as diversas ações – denominados de objetivos intermédios (IO) - na devida ordem.

#### **2.2.1.7. Árvore Estratégia & Tática (STT)**

A correta identificação e a clara comunicação das estratégias e táticas é essencial para garantir que a atenção limitada da Gestão de Topo, em todos os níveis, se foque nas mudanças prioritárias de forma a atingir os objetivos desejados de crescimento, estabilidade e harmonia de uma organização. No entanto, quando se considera a baixa taxa de sucesso (20%-40%) de todas as iniciativas de mudança organizacional e o facto da mesma não melhorar com o tempo, é possível concluir que a aplicação de processos tradicionais de planeamento estratégico e de execução não aborda a(s) causa(s)-raiz que estão na origem desta baixa taxa de sucesso [82].

Goldratt projetou a Árvore Estratégia & Tática (STT) - , a última ferramenta a integrar as ferramentas TP, para auxiliar a Gestão de Topo a prevenir os erros comuns que resultam numa elevada taxa de fracasso de iniciativas de mudança nas organizações [82], [96]. A STT representa o plano geral do projeto e as medidas, processos e comportamentos necessários, em cada nível e em cada função da organização, que levarão a uma implementação bem-

sucedida, como tal, a árvore concentra-se em responder, às cinco questões, em especial à quinta “*Como medir e sustentar a mudança e alcançar o POOGI?*” [107], [82].

A STT é definida como uma estrutura hierárquica que orienta todos os processos necessários para causar mudanças holísticas planejadas numa organização para a converter numa organização “sempre florescente”<sup>9</sup>. Esta árvore lógica permite definir e comunicar todas as mudanças necessárias e suficientes, de forma a sincronizar as ações necessárias para a realização de qualquer objetivo ambicioso – “*goal*” – e a sequência de implementação para garantir o cumprimento de ações de melhoria e o crescimento da organização [82].

*“Se a “Estratégia” está situada no nível mais alto de uma iniciativa [de mudança] e define a direção que dita todas as atividades e as “Táticas” estão situadas abaixo da iniciativa e definem todas as atividades que são necessárias para implementar a Estratégia, então onde termina a “Estratégia” e onde começam as “Táticas”?”*

Eliyahu M. Goldratt

O desenvolvimento da Árvore Estratégia & Tática começou com a questão acima referida. Como tal, Goldratt definiu claramente o significado de “Estratégia”(S) e de “Tática”(T) [82], [83], [87], [134]:

- Estratégia responde à questão “Para quê?”, i.e., é a definição do objetivo de uma mudança proposta;
- Tática responde à questão “Como?”, i.e., corresponde à ação necessária (melhor alternativa) para atingir uma estratégia (objetivo).

Com estas definições, cada ação - necessária para alcançar plano estratégico - pode e deve responder a estas duas questões. A forma como Goldratt definiu Estratégia & Tática (em vez de Estratégia e Tática) foi para evidenciar que cada estratégia deve ter **uma** tática e vice-versa – cada tática deve ter **uma** estratégia. A definição da relação entre os dois conceitos exige que uma decisão, acerca de qual é a melhor maneira de alcançar a estratégia específica, seja tomada no nível hierárquico apropriado. Exigindo, assim, o foco das entidades participativas. Sem esta disciplina, existe o risco de que muitas das táticas definidas não contribuirão significativamente para o alcance do objetivo, o que resulta em perda de atenção (*multitasking* inadequado, desperdício de recursos limitados) e falta de sincronização na execução de ações nos níveis abaixo [82].

A STT permite organizar todo o conhecimento adquirido através da análise de uma organização utilizando os TP. Para construir uma STT é preferível ter conduzido uma análise [prévia] completa do Sistema através das ferramentas TP, que são inestimáveis para o desenvolvimento rápido e eficaz da mesma. A estrutura lógica da STT orienta o foco organizacional – começando no objetivo mais elevado (Nível 1), derivando logicamente quais as ações essenciais que devem ser realizadas e em que ordem (da esquerda para a direita

---

<sup>9</sup> Uma organização “sempre florescente” é aquela que continua a crescer exponencialmente enquanto mantém a estabilidade [159].

e de baixo para cima) ao longo de todos os níveis da organização [87]. Na Figura abaixo está representada a estrutura geral da ferramenta STT.

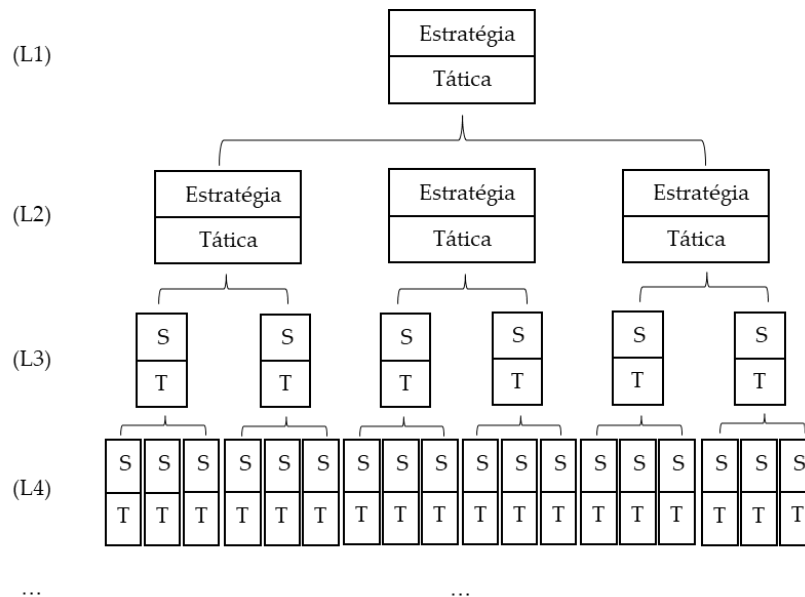


Figura 2.19 Estrutura da STT

Seguidamente estão descritas, clara e concisamente, as funções de cada Nível apresentado na STT [83]:

- Nível 1: Apresenta o “pote de ouro” - o objetivo estratégico muito ambicioso;
- Nível 2: Apresenta a essência da vantagem competitiva;
- Nível 3: Apresenta a essência da mudança em termos operacionais, i.e., as grandes mudanças necessárias a nível operacional e a lógica associada a essas mudanças;
- Nível 4: Apresenta os detalhes associados à mudança nos termos operacionais, bem como as razões para mudança;
- Nível 5: Apresenta as ações necessárias para implementar a mudança. Não inclui a lógica associada à necessidade da mudança, é apenas sobre como executar as táticas do nível anterior.

Como referido, cada ação tem uma Estratégia (S) e uma Tática (T). Portanto, o diagrama STT consiste em diversas “etapas” de S&T presentes nos diferentes níveis do diagrama. O Nível 1 (L1) da árvore consiste numa única etapa S&T. O Nível 2 (L2), inferior ao L1, apresenta pelo menos duas etapas S&T (entradas horizontais no mesmo nível) que especificam em detalhe os S e T necessários para atingir o nível superior de etapas S e T e assim sucessivamente até ao nível mais baixo de etapas S&T serem apresentadas. A cada nível mais detalhe é fornecido acerca de como atingir o objetivo do nível superior e, conseqüentemente, o objetivo do nível mais alto (L1) [83], [87]. Para a melhor compreensão da construção da STT, vide Anexo B.

A STT é uma ferramenta robusta que permite **sincronizar todas as ações necessárias para alcançar a estratégia (S) de alto nível** de uma organização e para comunicar o plano estratégico detalhado a todos os colaboradores. Examinando vertical e horizontalmente, a STT

é possível compreender o alinhamento de cada nível na hierarquia e a sincronização entre as diferentes funções, respetivamente [82].

A STT pode ser utilizada por qualquer organização para atingir a sua estratégia e apresenta algumas vantagens como [83]:

- O plano estratégico é comunicado de forma eficaz a todas as partes interessadas;
- Todas as relações lógicas do plano são apresentadas e validadas pelos *stakeholders*;
- A probabilidade de adesão e colaboração de todas as partes interessadas aumenta significativamente;
- Cada parte interessada entende como as suas ações estão diretamente ligadas ao cumprimento do objetivo;
- Autoridade e responsabilidades estão alinhadas;
- Resultados rápidos são alcançados devido à forma como a árvore é projetada.

O sucesso da implementação holística da TOC depende fundamentalmente da comunicação e da sincronização das ações que podem ser convenientemente suportadas pela STT. A STT indica as mudanças específicas necessárias em cada nível e para cada função de uma organização. Esta rede de relações causa-efeito orienta o processo de implementação da CCPM e auxilia na comunicação, seja vertical ou horizontal, entre os envolvidos no projeto [10].

### 2.2.2. A Cadeia Crítica

Goldratt [81] introduziu um novo método para o planeamento e controlo de projetos, baseado na lógica da TOC, denominado de *Critical Chain Project Management* (CCPM). Na sua definição mais elementar, a Cadeia Crítica consiste numa extensão dos Cinco Passos de Focalização à gestão de projetos, e é aplicada a dois ambientes de projeto distintos [78], [139] :

- Ambiente de projeto único ou monoprojeto: a restrição traduz-se na cadeia crítica (CC);
- Ambiente de diversos projetos ou multiprojeto: a restrição é identificada como sendo o recurso que impede a conclusão antecipada dos projetos.

A CCPM introduziu uma nova forma de pensar totalmente revolucionária que garante durações de projetos mais curtas e uma maior probabilidade de entregá-los no prazo estabelecido, aumentando a capacidade de cumprir a calendarização e o orçamento definido[77], [140], [141].

Este método desbloqueou uma série de novos paradigmas que permitiram avanços importantes comparativamente a métodos tradicionais de gestão de projetos (e.g., CPM/PERT<sup>10</sup>)[142]. A CCPM aborda diretamente a variabilidade associada à duração das atividades e utiliza reservas de tempo para proteger o projeto. Outro aspeto importante é o facto de eliminar conflitos de recursos, considerando as dependências entre atividades e a

---

<sup>10</sup> *Critical Path Method/Program Evaluation and Technique Review*

disponibilidade de recursos [143]. Este método fornece um processo conceitualmente simples e prático para planejar e gerir o projeto [74].

A primeira premissa da CCPM declara que a devida gestão de tempo oferece benefícios significativos para a gestão do *scope* e dos custos de um projeto – projetos que utilizam a CCPM registam melhor desempenho na concretização do calendário de projetos, custos e *scope* [74], [144], [145]. A segunda premissa afirma que a maneira tradicional de adicionar margens de segurança à duração das atividades individuais de um projeto é a causa-raiz dos problemas das organizações [81], [144].

A CCPM baseia-se na ideia que os projetos falham, mesmo com excesso de proteção (e.g., margens de segurança internas às atividades), devido à presença de determinados comportamentos por parte das entidades participativas no projeto que fazem com que a duração das mesmas aumente, bem como a duração do projeto aumente [143], [144], [146]. Desta forma, o método foi desenvolvido para evitar comportamentos como o *sandbagging*<sup>11</sup>, síndrome de estudante, *multitasking* ineficaz, e por fim, a lei de Parkinson<sup>12</sup>: “a quantidade de trabalho aumenta para preencher o tempo disponível para concluí-lo” [59].

### 2.2.2.1. Duração das Atividades de Projeto

A CCPM afirma que as estimativas das durações originais das atividades são de tal forma elevadas que estarão, normalmente, num intervalo que o recurso tenha a probabilidade de 90 a 95% de conclusão bem-sucedida no prazo [140], [145]. Os tempos das atividades seguem um padrão de distribuição enviesado para a direita e os seus tempos de conclusão não podem ser estimados com precisão. No entanto, um tempo estimado deve ser fornecido e o responsável pela atividade adiciona sempre uma margem de segurança para ter a certeza de que irá concluí-la dentro do prazo [140]. Observando a Figura 2.20, a área por baixo da curva de distribuição mostra a probabilidade de completar uma atividade numa determinada estimativa de tempo. O tempo estimado de conclusão, caso os recursos focassem todo o seu tempo à atividade, sem interrupções, corresponderia à área do lado esquerdo da linha a tracejado. Um tempo mínimo de execução pode ocorrer, mas com probabilidade muito baixa. Para garantir a realização das atividades com interrupções, retrabalho, algum imprevisto ou erro de estimativa, os recursos geralmente fornecem um tempo que no qual têm 90 a 95% de confiança que podem cumprir a atividade [90], [145].

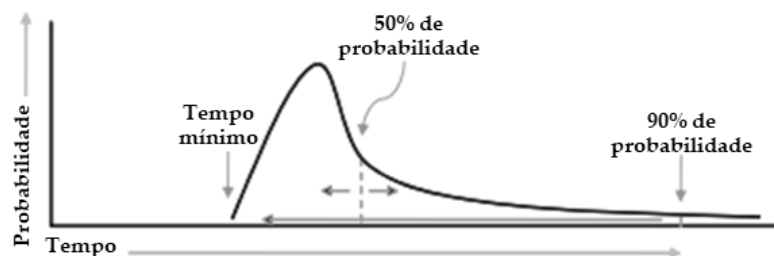


Figura 2.20 Curva de distribuição da duração de atividades de projeto

<sup>11</sup> Comportamento que consiste em reter trabalho concluído até chegar o momento mais benéfico para reconhecer oficialmente a sua conclusão.

<sup>12</sup> Tendência entre alguns recursos de continuar a melhorar o trabalho que já se encontra concluído.

A CCPM defende que a duração das atividades deve ser reduzida até que a probabilidade de conclusão seja de 50%. Portanto, **na calendarização CCPM a margem de segurança é removida das atividades**, definindo assim a estimativa de duração alvo – duração da atividade caso os recursos fossem capazes de a realizar sem interrupção, i.e., a corresponde à redução da duração da atividade em 50% [81], [90], [143].

### 2.2.2.2. Calendarização CCPM

O propósito da CCPM é eliminar eficazmente a maior parte da contenção de recursos (i.e., conflitos entre atividades pelos recursos) antes do início do projeto. Após o nivelamento de recursos, a cadeia crítica (CC) é identificada - a cadeia de atividades mais longa na rede de projeto que tem em consideração as relações lógicas entre atividades e as dependências de recursos. Qualquer atraso na conclusão das atividades da CC irá propagar-se para as atividades precedentes. Idealmente, uma CC permanece a mesma durante a execução do projeto [140].

A calendarização CCPM utiliza as durações alvo das atividades e dependências *finish-to-start*<sup>13</sup> (FS), com o objetivo de reduzir a duração total do projeto [147]. Além disso, a CCPM baseia-se na ética de trabalho do “*relay-runner*”<sup>14</sup> que consiste na concentração de esforços (i.e., inexistência de *multitasking*) em na realização de uma atividade e assim que concluída entregá-la, de imediato, a um recurso disponível para continuar a atividade [87]. Cada atividade é planeada o mais tarde possível, numa lógica ALAP (*as late as possible*) não exigindo que os recursos (humanos, financeiros, etc.) estejam disponíveis até que sejam absolutamente necessários. Esta lógica de programação atividades economiza o desperdício de tempo, o que pode ocorrer devido a alterações no *scope* ou nas especificações do projeto [74], [147], [148].

### 2.2.2.3. Dimensionamento de Reservas

Um dos princípios da TOC afirma que “*A soma de todos os ótimos locais não é igual ao ótimo global*”. Para mudar a concentração do ótimo local para o global, o tempo de segurança é removido das atividades individuais agregando-a num reserva de projeto – que irá proteger a conclusão do projeto [global] em vez das atividades individuais [90]. Existem dois tipos de reservas: a de projeto e as de alimentação, ambas desempenham um papel fundamental na CCPM pois são utilizadas como ferramentas de medição imediata e direta para controlar o calendário de projeto [74]. A reserva de projeto protege a todo projeto da variabilidade associada às atividades da cadeia crítica. A duração do projeto não muda mesmo que todas as margens de segurança da atividade sejam eliminadas, devido à reserva de projeto [149]. A CCPM protege a cadeia crítica de possíveis atrasos subordinando os caminhos de alimentação da cadeia crítica, colocando uma reserva de alimentação no final de cada caminho [não-crítico] que alimenta a cadeia crítica. Esta inovação imuniza a cadeia crítica de atrasos potenciais nos caminhos de alimentação da cadeia crítica [74], [149].

As reservas têm como função proteger o projeto da variabilidade associada às atividades da cadeia crítica, mas também das atividades não-críticas que a alimentam, por

---

<sup>13</sup> Atividade só se inicia uma atividade quando a precedente terminar.

<sup>14</sup> E.g., Atleta de uma corrida de estafetas.

isso é necessário dimensioná-las de forma a contribuir para a redução da duração total do projeto. Na Literatura, são mencionados cinco métodos de dimensionamento de reservas, sendo que os métodos C&PM e o RSEM são os mais referenciados [150]:

- *Cut-and-Paste Method (C&PM)*, apresentado por Goldratt [81], reduz a duração de cada atividade em 50% e permite que o tamanho da reserva seja igual à soma de metade da duração reduzida de cada atividade. O método permite uma redução de cerca de 25% na duração total do projeto [139], [143];
- *Root Square Error Method (RSEM)* dimensiona a reserva com base na raiz quadrada da soma dos quadrados da diferença entre a duração de baixo risco e a duração média de cada atividade [143], [151].
- *Adaptive Procedure with Density (APD)*, baseia-se no método RSEM mas tem em consideração a complexidade da rede de atividades do projeto, calculando o tamanho da reserva de alimentação com base nas variações log-normal da duração da atividade e uma medida de complexidade da rede de atividades [152];
- *Monte Carlo Simulation (MCS)* que utiliza a simulação sem considerar a estrutura da rede, a dimensão do buffer é definida pela diferença entre a hora de conclusão simulada e a hora de conclusão programada da última atividade da cadeia crítica [153];
- Método de Yu *et. al* [154] utiliza folga livre (i.e., quantidade de tempo que uma atividade pode atrasar sem afetar as atividades sucessoras) e margem de segurança para determinar a dimensão da reserva [150].

A CCPM é uma ferramenta robusta que melhora o planejamento de projetos, garantindo que sejam viáveis e imunes a variações de causa comum razoável. Realça o foco no calendário de projeto e promove um melhor desempenho na concretização de projetos.

## APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Este capítulo está reservado à apresentação do Caso de Estudo. Aborda a Empresa onde o Estudo foi desenvolvido, expondo o diagnóstico inicial do Sistema em análise, caracterizando ao detalhe o seu processo produtivo, bem como os equipamentos que o constituem.

### 3.1. Caracterização da Organização - Nobre Alimentação Lda.

O desenvolvimento do presente Caso de Estudo, realizou-se no Departamento de Engenharia Industrial da Empresa Nobre Alimentação Lda. responsável pela produção de bens de consumo de origem animal.

A Nobre tem origem num nome de família. A história da Nobre começou em 1918 com abertura do primeiro talho em Rio Maior, distrito de Santarém, por Marcolino Pereira Nobre. Em 1957, inaugurou o Primeiro Matadouro Regional de Portugal e em 1962 foi constituída a sociedade *Indústrias de Carnes Nobre Lda*. Com o sucesso e crescimento da Empresa, foi construída uma fábrica - moderna, equipada com tecnologia europeia e uma frota de distribuição organizada. Nos anos 80, a Nobre era líder de mercado na área de charcutaria, quer a nível de mercado nacional como de exportação.

Nos anos 90, a Nobre integrou um processo de internacionalização, desde então deixou de ser uma empresa de capital nacional, passando a ser detida por diversos acionistas. Em 2006 foi adquirida pela *Smithfield Foods* - um dos maiores grupos mundiais no setor alimentar - que lhe possibilitou um crescimento a nível tecnológico, e novas oportunidades de inovação e desenvolvimento de produtos. Em 2008, houve uma fusão entre a *Smithfield Foods* e a Empresa espanhola *Campofrio* e surgiu a Empresa *Campofrio Food Group* - considerada a maior empresa de carnes processadas da Europa e uma das cinco maiores do mundo. Em 2014, a *Campofrio Food Group* foi adquirida pela multinacional mexicana *Sigma Foods* - responsável pela produção e distribuição de alimentos, com presença em 18 países na Europa e América do Norte e Central.

A Nobre Alimentação é líder no mercado português, com um volume de vendas equivalente a 26 mil toneladas, que corresponde a uma faturação anual de, aproximadamente, 110 milhões de euros<sup>15</sup>.

Com uma equipa dedicada de 760 colaboradores, procura garantir a qualidade, a segurança alimentar, a satisfação das expectativas e necessidades dos seus clientes. A Empresa

---

<sup>15</sup> Dados relativos a 2020.

garante que seus produtos correspondam aos elevados padrões de qualidade e segurança alimentar exigidos pela União Europeia, possuindo a certificação de Sistema de Gestão da Segurança Alimentar. A Nobre é certificada pela ISO 9001, ISO 22000 e pela IFS (*International Food Standard*).

A Missão da Nobre consiste em: “*Desenvolver, produzir e comercializar produtos e serviços de excelência, com base nos mais altos parões de qualidade e inovação*”. Como tal, está atenta às tendências e integra novas tecnologias e técnicas tradicionais na criação de novos produtos, mas também na melhoria dos existentes, com o objetivo de garantir o sabor e qualidade dos mesmos.

Atualmente, a Nobre Alimentação Lda é constituída por uma única fábrica - com uma área de 40 mil m<sup>2</sup> cobertos - e um centro logístico, ambos localizados em Rio Maior, e a sede de escritórios no *Lagoas Park*, em Oeiras. No esquema da Figura 3.1 está representado, de forma simplificada, a estrutura organizacional da Empresa, no qual é possível observar os diferentes departamentos e como se relacionam entre si.

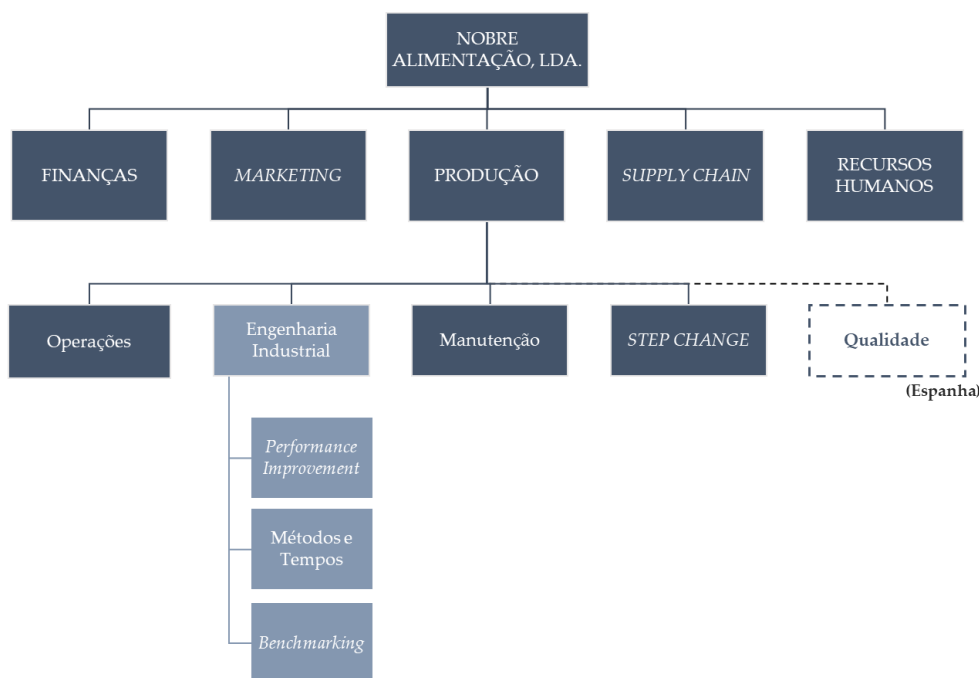


Figura 3.1 Organograma da Empresa Nobre Alimentação Lda.

Observando o organograma é possível constatar que o departamento de Engenharia Industrial está integrado na área da Produção, juntamente com Operações, Manutenção, TPM e Qualidade (reporta à Direção em Espanha) e dá suporte a todos eles. O estágio na Nobre, para efeitos de desenvolvimento da Dissertação, foi realizado juntamente com a equipa de *Performance Improvement*. O departamento tem a sua própria Missão, Visão e objetivos bem definidos (vide Tabela abaixo).

Tabela 3.1 Visão, Missão e Objetivos do departamento de Engenharia Industrial da Nobre Alimentação, Lda.  
 Fonte: Documentação da Nobre Alimentação Lda.

<b>Engenharia Industrial (E.I)</b>	
<b>Visão</b>	Constituir uma equipa homogénea, profissional, com competências e conhecimentos, capaz de desenvolver as suas tarefas de forma autónoma tonando-se a referência da Empresa para a melhoria e standardização de processos e análise de capacidades.
<b>Missão</b>	Padronizar e aumentar a capacitação dentro do departamento E.I. para que todos os membros da equipa tenham os mesmos conhecimentos, estabelecendo uma rede interna ágil que facilita a acessibilidade ao conhecimento interno e que pode ser transversal a todos os departamentos.
<b>Objetivos</b>	Detetar especialistas de referência em determinados temas de modo a partilharem o conhecimento e ministrar treino aos membros da equipa e pessoas das restantes áreas; Homogeneizar o conhecimento e padronizar os procedimentos de trabalho; Estabelecer planos de treinos para as necessidades detetadas, identificando recursos e prazos.

### **Melhoria Contínua na Nobre Alimentação Lda.**

O departamento *Step Change* é responsável pelo Projeto 365 MEB (*Make Everyday Better*) cujo objetivo é implementar TPM em toda a fábrica. Atualmente, dos oito pilares, cinco já estão implementados na fábrica. Os pilares já implementados são: Ambiente, Manutenção Planeada, Manutenção Autónoma, Formação e Melhoria Contínua. Este último é da responsabilidade do Departamento de Engenharia Industrial cujo objetivo, neste âmbito, é monitorizar o desempenho das linhas de produção, através da análise de *KPIs*, como o OEE e os seus indicadores e as respetivas perdas associadas, e propor projetos de melhoria (que resultem em *savings*).

A implementação do Projeto 365 MEB passa pela concretização de dinâmicas TPM e, consequentemente, de melhoria contínua, que é mais avançada e notável na Linha da Salsicha, Linha dos Fumados, Linha do Fiambre e Linha dos Fatiados. As dinâmicas consistem na constituição de Equipas TPM, por Linha, que envolvem os operadores de linha, um técnico de manutenção responsável pela Linha, denominado de “*boné preto*” e um técnico do departamento de Qualidade. Essas equipas desenvolvem e aplicam os conceitos inerentes à metodologia, e os operadores beneficiam de um bom conhecimento acerca do funcionamento e componentes dos equipamentos, tornando as suas funções diárias mais eficazes e promovendo um melhor desempenho das linhas.

A base do TPM e de qualquer organização são as pessoas. O envolvimento das pessoas é chave para alcançar os objetivos da organização e a colaboração entre os diferentes níveis, desde a administração ao chão de fábrica, e a sincronização entre as diferentes funções e departamentos. O Projeto 365 MEB promove a interação e envolvimento dos colaboradores para garantir a melhoria da produtividade e, a longo prazo, a sustentabilidade da Empresa.

### 3.1.1. Caracterização da Fábrica

A fábrica da Empresa Nobre Alimentação Lda é composta por sete áreas de produção, um armazém de matérias-primas e um cais de expedição onde os produtos são armazenados antes de serem enviados para o centro logístico. Em seguida, uma breve descrição de cada área de produção:

- Desossa: Desossa das pernas de porco, preparação de tamos, picagem de extras<sup>16</sup>;
- Salsicha: Produção de salsichas, enlatamento das mesmas e paletização. Existem duas linhas de produção: a principal – produz salsichas exclusivamente de lata; a paralela – produz salsichas de lata ou frasco.
- Fiambre: Produção de fiambre;
- Fumados: Produção de produtos fumados, como por exemplo o paio, o chourição e o bacon, entre outros.
- Fatiados: Fatiagem de produtos fumados e fiambre, embalamento dos mesmos e empacotamento. Esta é a área onde foi realizado o caso de estudo, concretamente na linha 5.
- Pratos Cozinhados: Produção de pratos cozinhados em lata;
- *Turmix*: responsável pela produção de pratos cozinhados em embalagens.

Nas áreas do Fiambre e Fumados existem dois géneros de produtos: produtos para balcão e produtos para fatiar. Os produtos para balcão são embalados e paletizados nas respetivas áreas de produção. Os produtos para fatiar que têm formato cilíndrico, designados de *logs*, seguem para a área dos Fatiados.

## 3.2. Área de Produção em Estudo

A área de produção em estudo é a dos Fatiados na qual existem seis linhas de produção. Cada linha é dedicada à produção de referências de produtos específicos. No total, na área de Fatiados, são produzidas 104<sup>17</sup> referências de produtos.

A organização física da área dos Fatiados é particular pois encontra-se dividida em quatro zonas: duas zonas de produção, denominadas de salas brancas; a zona de empacotamento e a zona de paletização, Figura 3.2. Esta organização da área visa garantir o cumprimento dos requisitos do Sistema de Gestão da Qualidade (ISO 9001) e do Sistema de Gestão da Segurança Alimentar (ISO 22000 e IFS). A divisão de espaços tem como objetivo evitar o contaminações cruzadas entre as diferentes zonas, reduzindo significativamente a probabilidade de contaminar o produto a ser manuseado nas salas brancas. Estas salas são caracterizadas como *high care area* (de acordo com o referencial IFS) pois são áreas onde o produto entra em contacto direto com os operadores de linha e com os equipamentos. A existência de duas salas brancas é também devido a questões de segurança alimentar, mais especificamente, de microbiologia intrínseca aos tipos de produtos nelas fabricados, neste caso, produtos cozidos e produtos fumados; estes diferentes tipos de produtos não podem ser

---

<sup>16</sup> Produto que não segue para o Cliente final (e.g., produto mal fatiado)

<sup>17</sup> Dados relativos a 2021.

produzidos ao mesmo tempo numa mesma sala branca. Por isso, as salas brancas dividem-se em:

- **Sala dos Cozidos:** Existem 4 linhas de produção. Esta sala dedica-se à produção de fatiados de produtos cozidos, como por exemplo o fiambre, de aves ou porco, e produtos vegetarianos.
- **Sala dos Fumados:** Existem duas linhas de produção, dedicadas à produção de fatiados fumados, mas, se necessário, também produzem fatiados cozidos. A linha em estudo situa-se nesta sala.

Esta divisão de áreas nos Fatiados, para além de favorecer o cumprimento de requisitos de qualidade e segurança alimentar, também permite a higienização das diferentes zonas em horários intercalados permitindo conciliar o planeamento de produção com as limpezas obrigatórias de cada zona.

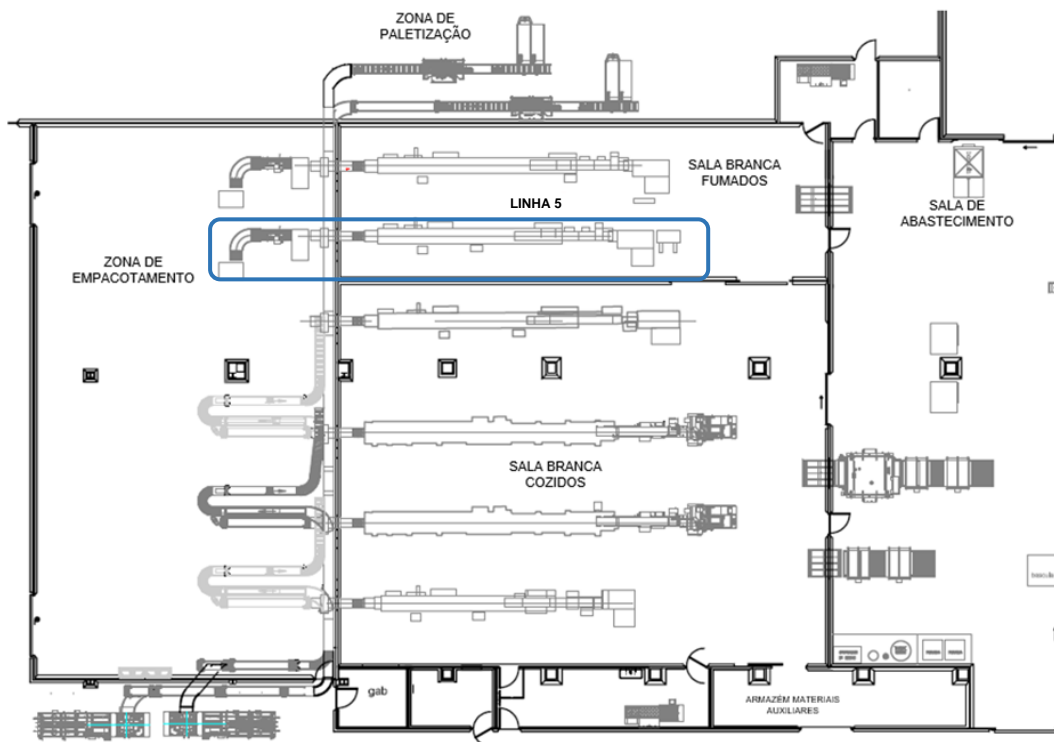


Figura 3.2 Layout da área dos Fatiados

### 3.2.1. Caracterização da Linha em Estudo

#### Produtos Fabricados

A Linha 5 está localizada na sala branca dos Fumados, no entanto o seu volume de produção, entre produtos fumados e produtos cozidos, é equilibrado. Esta Linha é responsável pela produção de 21 referências de produtos (Tabela 3.2) e das seis linhas de produção da área, a Linha 5 é a única responsável pela produção de produtos para o setor HORECA<sup>18</sup>.

Tabela 3.2 Produtos fabricados na Linha 5 da área dos Fatiados

Descrição Produto	Produto	Gramagem (g)	Setor HORECA
FAT CHOURIÇÃO GAS 2X(2X1KG) FS NB	Chourição	1000	x
FIN CHOURIÇÃO GAS 2X(2X1KG) FS NB	Chourição	1000	x
FAT FIAMBRE PA GAS 3X(3X350G) FS NB	Fiambre Pá	350	x
FAT CHOURIÇÃO GAS 3X(3X350G) FS NB	Chourição	350	x
FAT PAIO YORK GAS 2X(2X1KG) FS NB	Paio York	1000	x
FAT PEITO PERU FL GAS 3X(3X350G) FS CF	Fiambre Perú	350	x
FAT FIAMBRE PA 21X200 GRS AMH	Fiambre Pá	200	
FAT CHOURICAO 14X200GRS AMH	Chourição	200	
FAT CHOURIÇÃO 14X200G PDC	Chourição	200	
FAT CHOURIÇÃO 10X120G NBR	Chourição	120	
FAT ECON CHOURIÇ 12X100G NBR	Chourição	100	
FAT PAIO YORK GAS 12X90G ECON NB	Paio York	90	
FAT PAIO LOMBO GAS 10X100G NB	Paio Lombo	100	
FAT FIAMBRE PA GAS 6X500G FS NB	Fiambre Pá	500	x
FAT PEITO PERU GAS 6X500G FS NB	Fiambre Perú	500	x
FAT Q F PERNA EXTRA GAS 3X(3X350G) FS NB	Fiambre P. Extra	350	x
FAT CHOUR T ESPANHOL GAS 17X150G EXP CTE	Chourição	150	
FAT FIN CHOURIÇÃO GAS 17X170G SS CTE	Chourição	170	
FAT ECON S SELO CHOURIÇ 12X100G NB	Chourição	100	
FAT PAIO YORK GAS 3X(3X250G) MASTERCHEF	Paio York	250	x
FAT PEITO PERU GAS 6X500G MAKRO CHEF	Fiambre Perú	500	x

#### Processo Produtivo

Na Linha 5 o processo é contínuo com produção por lotes devido à configuração dos equipamentos que constituem a linha de produção. Neste tipo de processos o *output* é apresentado em lotes.

A produção por lotes é caracterizada pela produção de mais do que um produto, em simultâneo, na mesma estação de trabalho. A produção por lotes implica o movimento de produtos discretos de uma área de processamento para outra [155]. À medida que estes

<sup>18</sup> HOTéis, REstaurante e CAFés também denominados de produtos food service.

passam pelas restantes áreas, o produto vai-se completando. No final, é obtido um lote de produto acabado.

A Linha é classificada como multimodelo porque fabrica diferentes linhas de produtos (Tabela 3.2). Entre a produção de lotes de um produto é necessário parar a linha e efetuar as devidas mudanças nos equipamentos para os adaptar à produção dos próximos lotes de determinado produto (e.g., limpeza do equipamento porque foi produzido Paio York e o produto seguinte é Fiambre da Pá; configurações dos equipamentos, etc.).

A Linha 5 apresenta uma configuração linear. Os lotes passam, sequencialmente, por um caminho predefinido por estações de trabalho. O processo produtivo da Linha 5 é definido pelas mesmas operações para a produção de cada lote de cada referência de produto, no entanto o que difere são as quantidades de matéria-prima e as condições de processamento por exigência da referência de produto. O processo produtivo referido está representado no fluxograma da Figura 3.3 e é seguidamente descrito:

O processo inicia com a receção do produto intermédio - *logs* - para fatiar, este é produzido na Fábrica de Rio Maior ou é proveniente de outras fábricas (e.g., Espanha). Depois da receção, é realizado o controlo de temperatura do produto, através de um termómetro digital. De seguida, é necessário proceder à operação de pelagem do produto - Estação de Pelagem (1), nesta estação de trabalho um operador é responsável por retirar a tripa ou material que envolve o *log*.

Depois da pelagem de *logs* encontra-se a Estação (2) de Abastecimento da Fatiadora, onde os *logs* são colocados no braço da Fatiadora. Caso o braço não esteja vazio, reservam-se os *logs* pelados na mesa de apoio. Quando a Fatiadora acaba de fatiar os *logs*, esta abre automaticamente e um operador reabastece-a, retirando o excesso do produto das garras (que não chega a ser fatiado) da Fatiadora e posicionando o(s) *log(s)*. Uma vez abastecida, a Fatiadora procede à operação, automática, de fatiagem. O *output* da operação são porções de fatias (formato redondo, quadrangular ou retangular dependendo da referência a ser produzida), cada porção com uma quantidade de fatias pré-definida para o cada produto em fabrico.

Imediatamente a seguir à Estação 2 existe um tapete que tem integrado um sistema de pesagem, denominado de tapete-balança. Unido a este, existe outro sistema de tapetes, constituído por um tapete (1) superior e um tapete (2) inferior.

Quando as porções apresentam o peso especificado o tapete-balança transfere-as para o tapete 2 que as transporta até à Embaladora onde dois operadores colocam e ajustam manualmente as porções nas embalagens - Centro de Trabalho (1) de Colocação Manual de Porções.

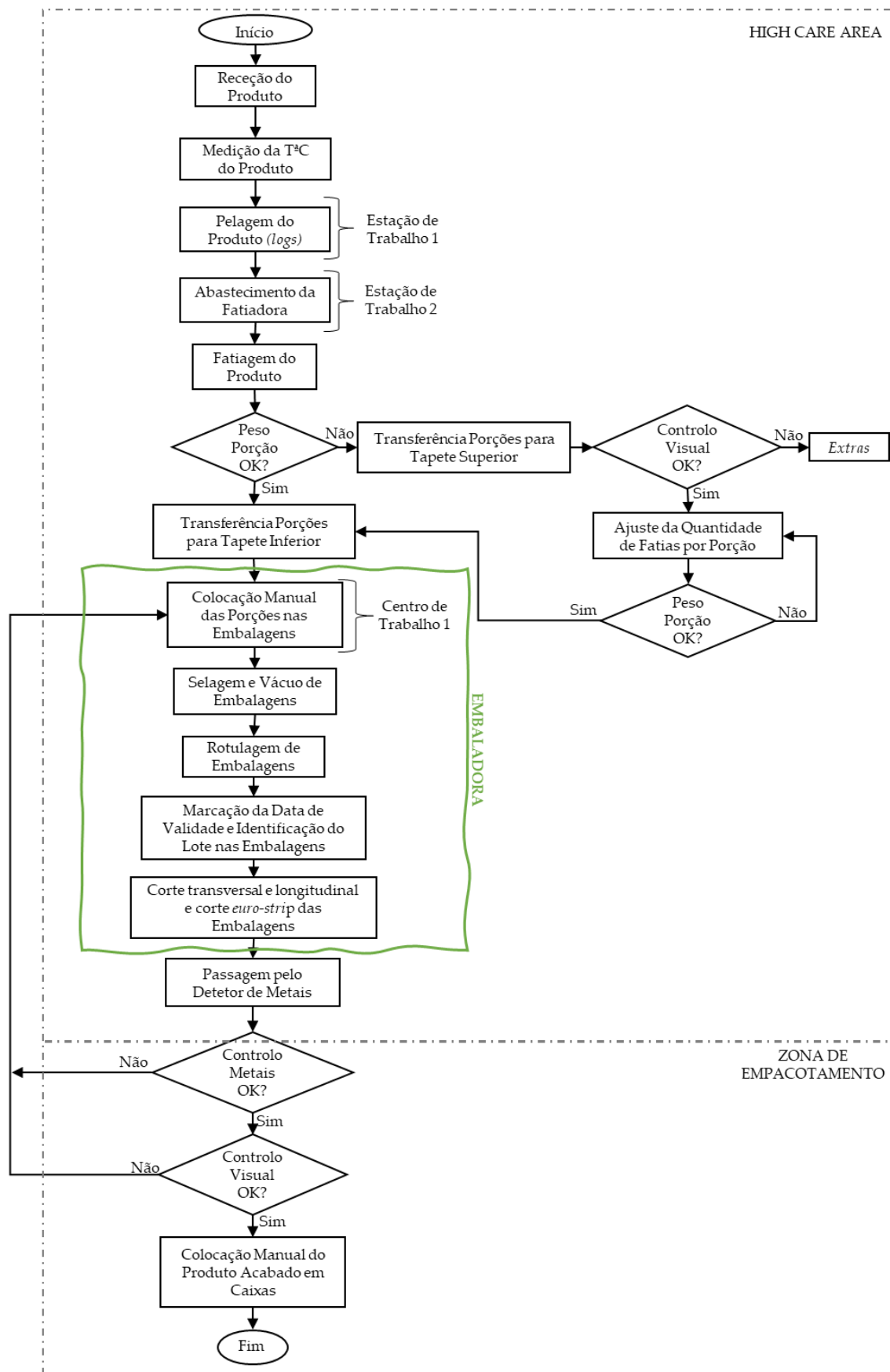


Figura 3.3 Fluxograma do processo produtivo da Linha 5

Caso as porções, após a fatiagem, apresentem peso que se encontre fora do intervalo especificado, o tapete-balança sobe e transfere as porções para o tapete superior onde ficam retidas. Primeiro, o produto retido passa pelo controlo visual e caso não esteja em condições para embalar é enviado para a gaveta dos extras, caso esteja em condições o peso das porções é ajustado manualmente, com auxílio de uma balança (industrial de mesa) até apresentar o peso especificado. Com o peso correto, as porções são colocadas no tapete inferior que as transporta até à Centro de Trabalho 1, guarnecido por dois operadores. Este Centro de Trabalho materializa o início do processo de embalamento da referência do produto, através de um equipamento Embaladora que executa quatro operações automáticas que completam o processo de embalamento:

- **Selagem e Vácuo:** onde é aplicado o filme superior, existe a selagem, a injeção de azoto e a remoção de oxigénio, em simultâneo;
- **Rotulagem:** onde são aplicados os rótulos na embalagem;
- **Inkjet:** onde se realiza a marcação de data de validade e identificação do lote do produto, em simultâneo;
- **Cortantes:** onde em simultâneo acontece o corte transversal e longitudinal da embalagem e o corte do euro-strip.

Finalmente, à saída da Embaladora, a embalagem passa pelo detetor de metais. Caso sejam detetados metais, a embalagem é rejeitada e o produto, ou seja, a porção deverá ser re-embalada na Centro de Trabalho 1.

Após o controlo de metais, a embalagem é transferida para um tapete (3) que dá entrada na sala de empacotamento e a transporta até à estação de trabalho de empacotamento. Nesta estação, as embalagens, caso estejam conforme as especificações são colocadas em caixas que são transportadas, através de um tapete (4) até à zona de paletização, onde são fechadas por uma máquina automática e são, finalmente, paletizadas manualmente e enviadas para o Cais de Expedição. Caso as embalagens não estejam conformes são re-embaladas na Estação de Colocação Manual de Porções.

Para o Caso de Estudo, o foco será apenas no equipamento Embaladora e respetivas operações – área identificada a verde no fluxograma (Figura 3.3) – visto que o OEE da Linha 5 é medido neste equipamento. Para melhor compreensão da Embaladora e respetivas operações em análise, é apresentada uma caracterização deste equipamento.

## **Embaladora**

A Embaladora é caracterizada pela produção por lotes visto que funciona por avanços; a cada avanço do equipamento, x embalagens avançam para outras operações até se obter o produto acabado. Entre a produção de referências distintas é necessário parar o equipamento e proceder às mudanças (*setup*) adequadas e necessárias para permitir a produção do seguinte lote, por exemplo, mudar a configuração dos moldes de embalagem, que para algumas referências é realizada com o auxílio de um técnico de manutenção.

A quantidade de embalagens por lote depende da referência a produzir, variando a quantidade de moldes inferiores necessários. Geralmente, a cada avanço da Embaladora são produzidos seis moldes inferiores, ou seja, 6 embalagens (2x3). No entanto, quando são fabricados produtos *food service*, cuja gramagem é um quilo, a cada avanço da máquina são produzidos quatro moldes inferiores, ou seja, 4 embalagens (2x2). A Embaladora é um equipamento semiautomático constituído por um conjunto de subequipamentos:

- **Termo-formadora:** Produz os moldes inferiores da embalagem termoplástica a partir de filme termoplástico, denominado de filme inferior;
- **Equipamento de Selar e Vácuo:** Faz a selagem do molde inferior com o filme superior;
- **Rotuladora:** Aplica os rótulos na embalagem;
- **Inkjet:** Sistema de impressão que realiza a marcação da data de validade e identificação do produto na embalagem;
- **Cortantes:** Formado pelo cortante transversal, longitudinal e euro-strip. Os primeiros dois cortantes cortam as bordas de união entre o filme inferior e filme superior e o último faz o corte do euro-strip nas embalagens.

Para melhor compreensão [visual] dos Equipamentos, respetivos componentes e funcionamento da linha de produção em estudo, encontra-se no Anexo D, desenhos em CAD da Fatiadora e da Embaladora, Figuras D.1 e D.2, respetivamente.

### 3.2.2. Desempenho Global da Linha em Estudo

A Linha 5, também é caracterizada pelo seu desempenho global. Para o Caso de Estudo e tendo em conta o seu objetivo - *Melhoria do OEE* de uma Linha de Produção - um ponto crucial da investigação é entender como é que o valor do OEE e os respetivos indicadores - Disponibilidade, Desempenho e Qualidade - são calculados, compreender como é que o comportamento desta é refletido nos indicadores e qual ou quais é que têm mais impacto no desempenho global da Linha.

Para o Sistema em análise (linha 5), o valor do OEE é obtido através do *software* Mapex (MES) utilizado por organizações para gerir o planeamento da produção, o controlo de qualidade e das operações que decorrem no chão de fábrica [156]. Este *software* está presente no painel de controlo da Embaladora, como tal, os dados recolhidos pelo Mapex são referentes ao desempenho da Embaladora<sup>19</sup>. Durante a produção, os operadores também têm o dever de registar as razões das paragens da linha de produção no *software*.

Na Literatura [57], o OEE identifica as “*Seis Grandes Perdas*” do Sistema que estão associadas aos três indicadores. No entanto, neste Caso de Estudo, a contabilização das “*Grandes Perdas*” é ligeiramente diferente, contabilizando dez perdas principais associadas aos três indicadores, definidas pela Empresa Nobre Alimentação Lda. (apresentadas na

---

<sup>19</sup> O desempenho da Embaladora é influenciado pelas atividades a montante e a jusante da mesma.

Tabela 3.3.). É com base nas perdas indicadas abaixo que cada um dos indicadores, e consequentemente o OEE, da Linha 5 são calculados.

Tabela 3.3 Perdas associadas aos Indicadores de OEE definidas pela Empresa Nobre Alimentação Lda.

Impacto no OEE		
Indicadores	Perdas	Definição
Disponibilidade	Avarias	Paragens não-planeadas cuja duração é superior a 10 min.
	Changeovers e Ajustes de Linha	Tempo perdido em mudanças de produto (e.g., mudança do filme, de rótulos, etc.) e em ajustes de linha (e.g., ajustar posicionamento dos rótulos) durante o processo produtivo.
	Troca de Consumíveis	Troca de consumíveis durante o processo produtivo (e.g., troca de lâmina, substituição de filme ou rótulos).
	Arranque e Paragem	Tempo perdido na preparação da linha para o arranque e na paragem e desmontagem da linha no final do dia de produção.
	Aprovisionamentos	Tempo perdido à espera da entrega de matéria-prima ou materiais auxiliares à produção; Tempo perdido à espera o produto acabado seja retirado ( <i>downstream</i> ).
	Outras Paragens	Paragens gerais devido à falta de serviços (água, eletricidade, etc.) ou falha no sistema informático. Paragens devido a Gestão ineficiente (e.g., mau planeamento, falta de operadores, operadores com falta de <i>skills</i> ). Paragens para a manutenção autónoma ou para controlo de qualidade.
Desempenho	Pequenas Paragens	Paragens não-planeadas cuja duração é inferior a 10 min.
	Velocidade Reduzida	Redução de velocidade de produção em relação à velocidade <i>standard</i> estabelecida.
Qualidade	Defeitos	Tempo perdido devido à produção de produtos acabados fora das especificações. Tempo perdido como resultado de matéria-prima e materiais auxiliares de produção não conformes.
	Retrabalho	Tempo perdido em atividades de Retrabalho.

Para o desenvolvimento do Caso de Estudo, foram recolhidos os dados acerca do OEE mensal e respetivos indicadores da Linha 5 ao longo do ano 2021, até ao mês de junho (vide Tabela 3.4.). Com os dados apresentados abaixo é possível analisar, quantitativamente, os indicadores da Linha 5 e o valor do OEE. Na Figura 3.4, está representado o impacto que cada indicador tem nas perdas de eficiência da Linha, no primeiro semestre de 2021.

Tabela 3.4 Valores do OEE e Indicadores da Linha 5 para o 1º Semestre 2021

2021				
Mês	Disponibilidade	Desempenho	Qualidade	OEE
Janeiro	78,4%	81,7%	86,3%	55,2%
Fevereiro	78,4%	80,1%	84,0%	52,8%
Março	76,8%	79,8%	85,0%	52,0%
Abril	78,4%	82,7%	85,9%	55,7%
Maior	77,2%	80,4%	86,2%	53,5%
Junho	75,4%	81,0%	85,0%	51,9%

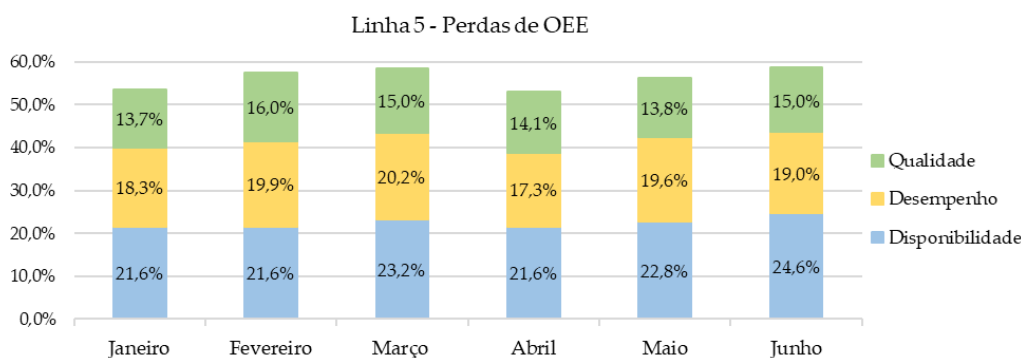


Figura 3.4 Representação do impacto de cada Indicador nas perdas de OEE

Observando a Figura 3.4, o valor do OEE da Linha 5 é afetado principalmente pelas perdas de Disponibilidade (cerca de 23%), seguido das perdas relacionadas com o Desempenho (cerca de 19%) e, por fim, as perdas de Qualidade (cerca de 15%). Com os dados recolhidos e as suas respetivas justificações, em Mapex, é possível identificar e quantificar as principais perdas que maior impacto têm na linha (Figuras no Anexo D). As perdas definem o OEE da linha, no entanto é importante salientar que estas perdas são referentes à Embaladora, onde são medidos os indicadores do OEE.

As principais perdas da linha são devido a: *Changeovers* e ajustes de linha, troca de consumíveis, arranque e paragem da linha (*start-up & ramp down*), outras paragens e avarias (Figura D.3). Em seguida, pelas pequenas paragens e *performance loss* (Figura D.4) e, finalmente, pela *quality loss* visível nas (Figura D.5).

Para 2021, o departamento de Engenharia Industrial estabeleceu um *target* de 57% de OEE para a Linha 5, significando isto um aumento de cinco pontos percentuais relativamente ao ano 2020. O *target* estabelecido é ambicioso pelo facto de se tratar de uma linha piloto TPM, beneficiando dos conhecimentos dos operadores que poderão participar na proposta e implementação de melhorias. No entanto, o valor médio do desempenho da Linha 5 no primeiro semestre de 2021 foi de 53,5%, encontrando-se aquém do valor desejado em 3,5 pontos percentuais. Relativamente a outras linhas de produção de fatiados, pertencentes a outras Empresas do grupo Sigma, o valor médio do OEE referente ao primeiro semestre de 2021 é de 58.5%. Portanto, comparativamente às restantes linhas de fatiados do Grupo, é possível constatar que o desempenho global da Linha 5 encontra-se abaixo da média.

Neste capítulo foi possível caracterizar o Sistema em estudo consoante os produtos nele fabricados, os processos produtivos e respetivas operações e recursos humanos necessários à sua função. A identificação e quantificação das medidas de desempenho – Disponibilidade, Desempenho e Qualidade - que refletem o comportamento do Sistema também são pontos cruciais a compreensão total do Sistema.

## PROPOSTA METODOLÓGICA DO CASO DE ESTUDO: TOC-TP E CCPM

Neste capítulo, é definida a proposta metodológica da componente reflexiva da TOC - *Thinking Processes* (TOC-TP) - e a aplicação da *Critical Chain Project Management* (CCPM), de forma a fundamentar a sua aplicação ao Caso de Estudo desenvolvido na Empresa Nobre Alimentação Lda.

### 4.1. Determinação do Objeto de Investigação (1ª Fase)

Para a concretização da primeira fase é necessário determinar o problema a abordar juntamente com o departamento de Engenharia Industrial, nomeadamente a Equipa de *Performance Improvement*. É crucial definir um objeto de investigação que vá ao encontro das necessidades da organização, mas que, por sua vez, garanta a possibilidade de exploração da TOC-TP. Caso o objetivo definido não se adeque ao tema da investigação, este será descartado e uma nova iteração será efetuada de modo a detetar outro objeto de investigação.

### 4.2. Caracterização do Sistema em Estudo (2ª Fase)

A segunda fase tem como objetivo a realização de um diagnóstico inicial do Sistema que será alvo de análise. Neste caso específico, o Sistema em estudo é um sistema produtivo, o qual deverá ser caracterizado de forma completa, permitindo uma melhor compreensão do mesmo. Nesta fase, será necessário a realização de visitas ao Gemba para a compreensão do funcionamento do Sistema e de todos os processos que o constituem, propondo a construção de um fluxograma relativo ao processo produtivo e a descrição dos equipamentos e dos componentes integrantes do Sistema.

Ainda nesta fase, é efetuada a recolha de dados relativos ao desempenho global (OEE) do Sistema e respetivos indicadores, extraídos do *software* informático MES - Mapex - instalado em toda a fábrica para a monitorização dos sistemas produtivos.

Após a conclusão da recolha e análise de dados será possível definir, inicialmente, alguns pontos críticos do Sistema em análise que serão, posteriormente, considerados para a aplicação da TOC-TP.

### 4.3. Definição dos Limites e Enquadramento do Sistema (3ª Fase)

A terceira fase assenta na definição minuciosa do Sistema que se pretende melhorar, bem como dos seus limites. Dettmer [77] considera esta fase bastante importante pois a definição dos limites do Sistema permitirá uma compreensão mais fácil dos fatores que desencadeiam os problemas no mesmo. A partir daí, será possível entender quais os problemas que se encontram dentro dos limites do Sistema, e são controláveis, e quais residem fora deste e deverão ser aceites como realidades indesejáveis e não controláveis.

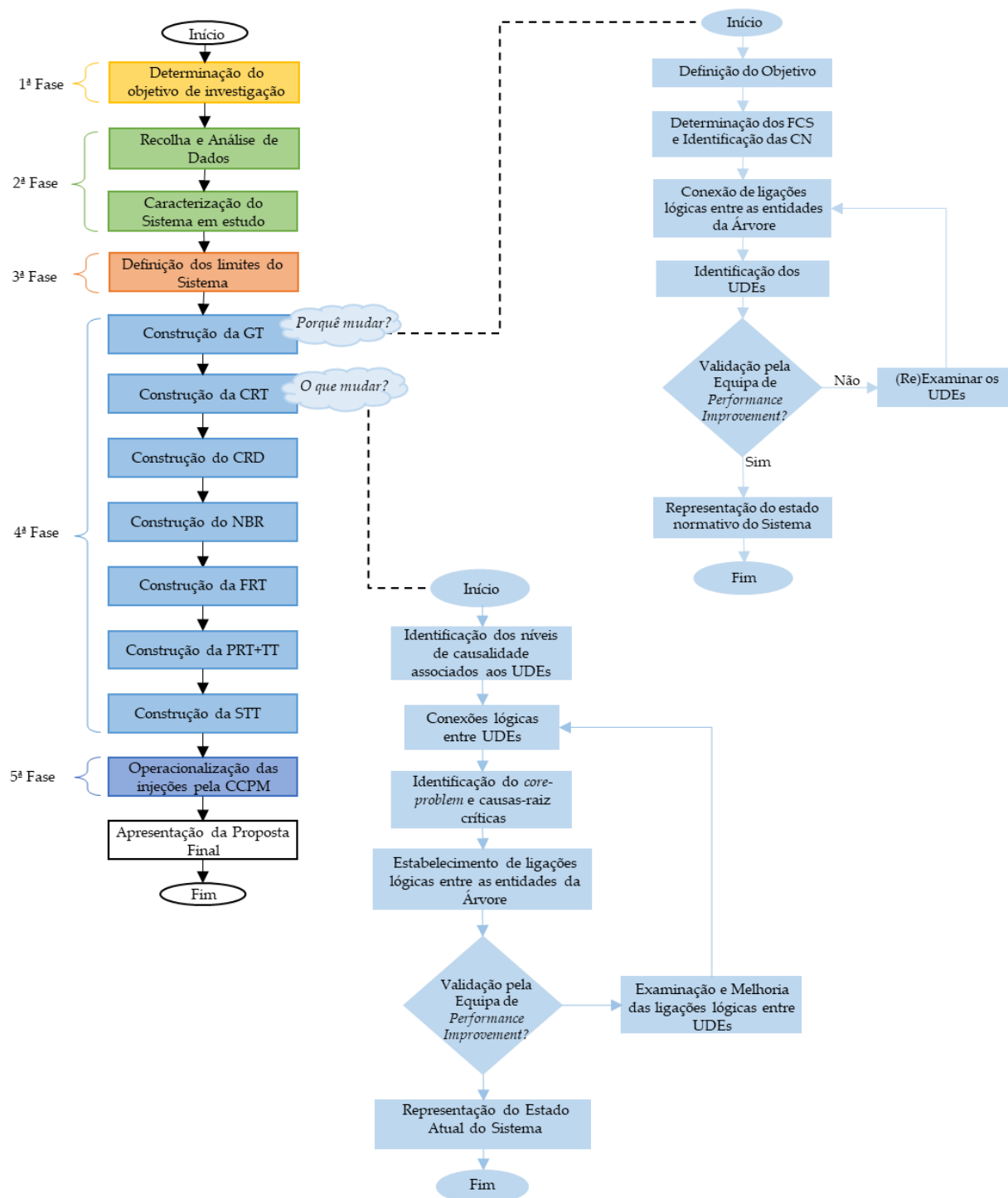
### 4.4. Aplicação dos *Thinking Processes* (4ª Fase)

A quarta fase consiste na aplicação da TOC-TP com base no modelo da *framework* proposto por Gaspar, M. [107] e explícito na Figura 2.7. Neste Caso de Estudo, procura-se aplicar as ferramentas lógicas da TOC, de forma integral e sequencial, para dar resposta a cada uma das questões fundamentais da TOC e alcançar o ciclo do *Process of OnGoing Improvement* idealizado por Goldratt. Desta forma, o processo adotado para o desenvolvimento do Caso de Estudo é abaixo descrito, ilustrado por fluxogramas, Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, que representam o processo de construção de cada ferramenta TP, de modo a dar resposta à respetiva Questão Básica acerca da gestão da mudança.

Primeiro, é construída a GT cujo objetivo é responder à questão “*Porquê mudar?*”. Esta árvore lógica identificará, claramente, o objetivo que o Sistema pretende alcançar, os fatores críticos de sucesso e as condições necessárias para a obtenção desse sucesso. A GT constituirá um mapa visual representativo da situação normativa do Sistema, i.e., o destino para o qual todos os esforços de melhoria do Sistema devem estar direcionados. Através da análise da GT, será possível identificar os efeitos indesejáveis que se fazem sentir no Sistema.

De seguida, com a identificação dos UDE, é desenvolvida a CRT que irá responder à questão “*O que mudar?*”. Esta árvore tem como objetivo representar o estado atual do Sistema, evidenciando apenas a sua vertente desfavorável. Neste momento, é necessário identificar e desenvolver ligações lógicas, i.e., causa-efeito, que relacionem os UDE às causas-raiz. Desta forma, será possível descobrir o *core-problem* e as causas-raiz críticas que inibem o Sistema de atingir um melhor desempenho.

Nesta fase, após a construção da CRT, sugere-se a abordagem de Dettmer [77] que defende o foco num conjunto de CRC. O autor não invalida a existência de um *core problem*, no entanto, caso este seja demasiado geral ou se encontre fora da zona de influência em análise, não poderá ser solucionado. Justifica, assim, a concentração de esforços em Causas-Raiz Críticas (CRC) que poderão ser solucionadas, pois encontram-se dentro da esfera de influência.



Posteriormente, para responder à questão “Mudar para o quê?” é fundamental o desenvolvimento de três diagramas lógicos: CRD, NBR e FRT. O CRD vai permitir definir precisamente o conflito subjacente a cada uma das CRC identificadas e a criação de injeções que irão desafiar os pressupostos relativos ao conflito para a resolução do mesmo. Desta forma, serão desenvolvidas injeções mitigadoras para todos os problemas identificados. Após a determinação das injeções a introduzir no Sistema para o encaminhar na direção do sucesso, é crucial refletir acerca das possíveis implicações que as injeções poderão ter no estado futuro

Figura 4.1 Metodologia Proposta - Construção da GT e da CRT

do Sistema, questionando “As injeções propostas originarão novos problemas para além dos efeitos desejáveis óbvios que irão produzir?”.

Em caso afirmativo, é necessário recorrer à NBR: o desenvolvimento do ramo negativo produzido tem como resultado um UDE, que afeta o objetivo do Sistema. Para o eliminar, é preciso desenvolver injeções para quebrar o ponto em que surgiu a primeira consequência negativa. A NBR previne, assim, o aparecimento de novos efeitos negativos. Cada NBR descoberta vai melhorar, significativamente, a sustentabilidade das injeções presentes na FRT. Para completar e finalizar a resposta à questão “Mudar para o quê?”, a construção da FRT proporcionará a visualização do estado futuro do Sistema.

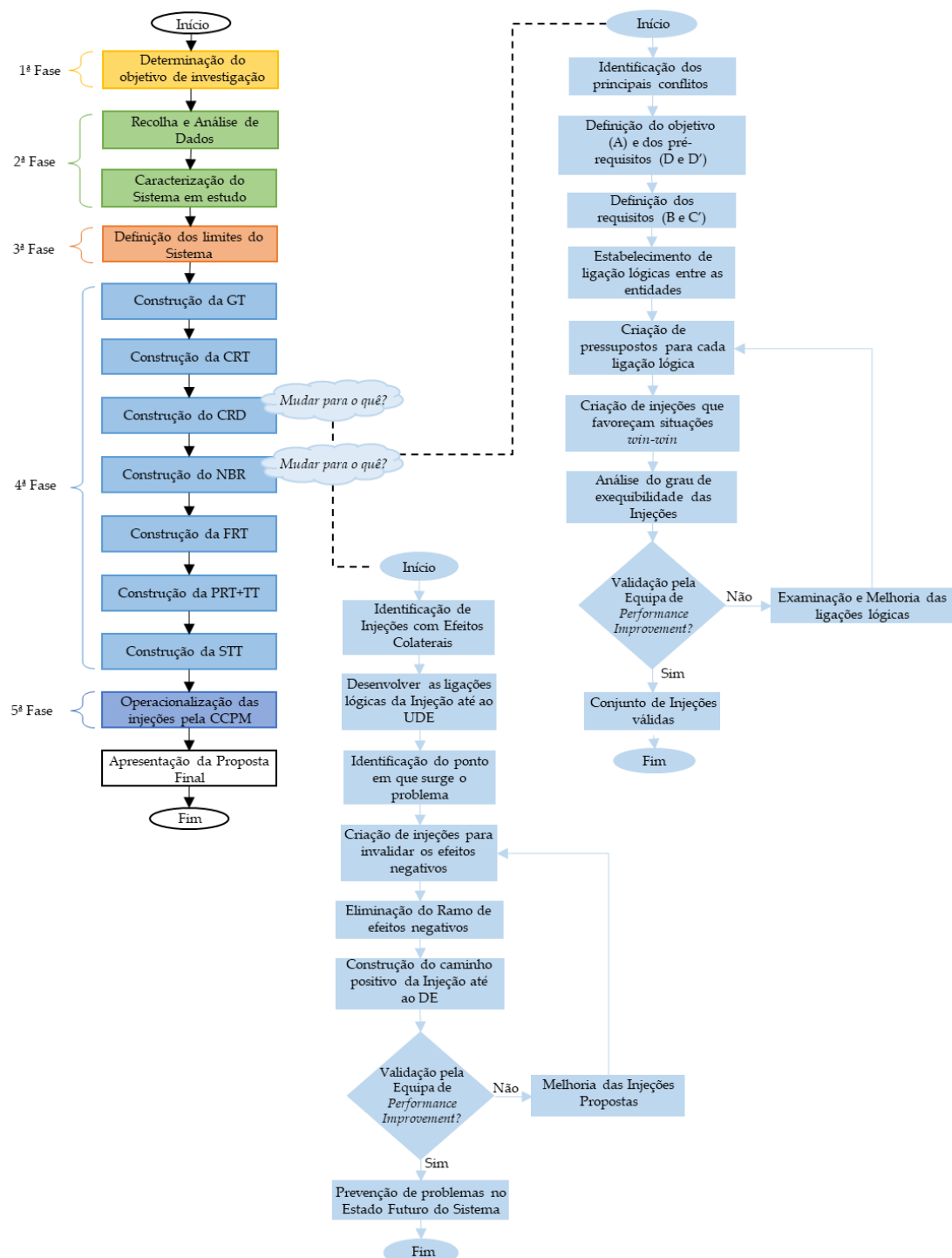


Figura 4.2 Metodologia Proposta - Construção do CRD e do NBR

A FRT permitirá testar as injeções propostas para a resolução dos problemas do Sistema, utilizando a lógica causa-efeito, para garantir que estas irão, realmente, substituir os UDE por efeitos desejáveis (DE) e, conseqüentemente, alcançar o objetivo do Sistema.

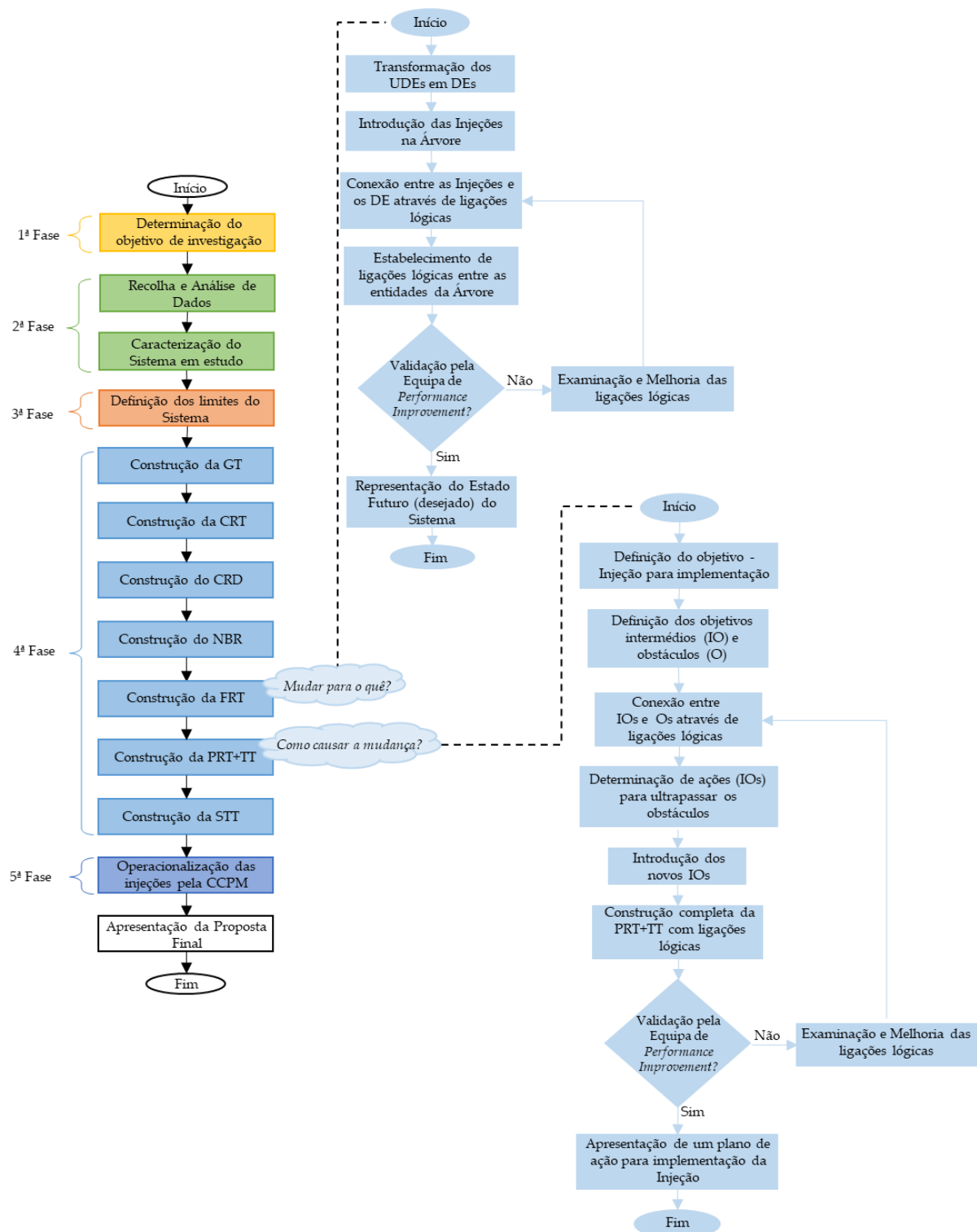


Figura 4.3 Metodologia Proposta - Construção da FRT e da PRT

Posteriormente, de forma a responder à questão “*Como causar a mudança?*” é necessário desenvolver a PRT. Recomenda-se a construção de uma árvore mais robusta, apresentada por Dettmer que funde a PRT e a TT de Goldratt [77]. Esta permitirá estruturar a execução da FRT posteriormente desenvolvida, pois o seu objetivo é desenvolver um conjunto de ações detalhadas que precisarão de ser concluídas para a implementação das injeções propostas. Significando isto que para cada injeção deverá ser construída uma PRT mais robusta. A construção da mesma determinará o número mínimo de ações necessárias para alcançar o objetivo (injeção) e identificará os possíveis obstáculos ao mesmo e as respetivas ações necessárias para os ultrapassar, definindo um plano de ação para a implementação de cada injeção.

Por último, será possível sintetizar todos os resultados obtidos da aplicação das ferramentas TP na construção da STT que, por sua vez, irá dar resposta à questão “*Como medir e sustentar a mudança e alcançar o POOGI?*”. A STT permitirá obter uma visão geral, mas também detalhada, da necessidade de **sincronização** de todas as ações necessárias para o alcance da Estratégia de mais alto nível da organização (neste caso, o objetivo definido na GT) e de **comunicação** (do plano estratégico a todos os colaboradores). Assim sendo, a STT indicará as mudanças (i.e., ações) específicas necessárias em cada nível e para cada função da organização de forma a sustentar a mudança.

A quarta fase consiste num processo iterativo, daí a representação da aplicação de cada ferramenta TP em fluxogramas (Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4). A Equipa de *Performance Improvement* terá um papel importante na investigação, pois será responsável pelo escrutínio e validação de cada diagrama, bem como pela sugestão de melhorias, de modo a manter a investigação alinhada com as necessidades da organização.

## 4.5. Planeamento das Ações de Melhoria: CCPM (5ª Fase)

A quinta fase propõe a utilização da CCPM como método de planeamento das ações (i.e., atividades) definidas pela STT, de forma a orientar a organização na implementação de todas as injeções propostas (vide Figura 4.4). Cada injeção, já decomposta numa rede de atividades pela STT, será vista como um único projeto. Para a calendarização do(s) projeto(s) recomenda-se a utilização do *software ProChain* pois é um *add-on* do *Microsoft Project* – sistema informático universalmente conhecido e utilizado por muitas organizações.

O *ProChain* permitirá a construção da rede de atividades e o dimensionamento das reservas de tempo, apresentando a calendarização do(s) projeto(s). Neste caso específico, irá ser utilizado o método mais simples para o dimensionamento de reservas: *Cut-and-Paste Method* (C&PM) apresentado por Goldratt [81], pois permite a redução de cerca de 25% da duração total do projeto.

Com a criação de várias injeções, a organização estará perante diversos projetos e a gestão de projetos com base na CCPM ocorrerá, então, num ambiente multi-projeto; refiro-me, mais concretamente, à gestão de programas de projeto pois cada projeto (i.e., injeção) está relacionado entre si, com um objetivo em comum – definido na GT.

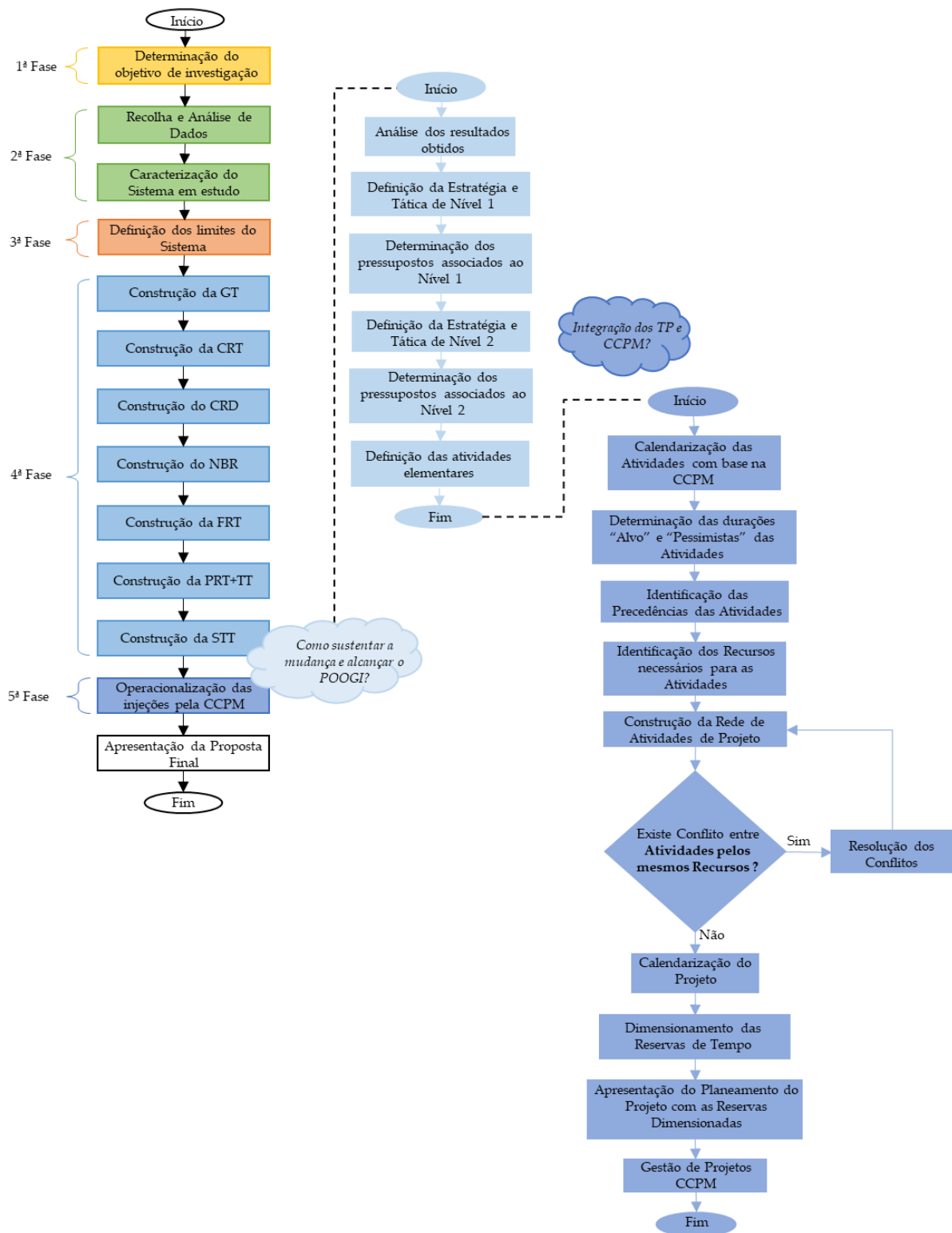


Figura 4.4 Metodologia Proposta: Construção da SST e CCPM

A proposta final da investigação será entregue à equipa de *Performance Improvement* para validação e, posteriormente, partilha de resultados com os restantes departamentos cuja participação será imprescindível para a concretização do objetivo definido. Cabe à organização decidir implementar as sugestões de melhoria propostas como iniciativa de combate à inércia, fomentado a cultura de melhoria contínua.



## APLICAÇÃO DA TOC-TP À MELHORIA DO OEE

Neste capítulo, o Caso de Estudo é desenvolvido consoante a proposta metodológica apresentada no capítulo 4. São aplicadas as ferramentas lógicas dos *Thinking Processes* da TOC, como resposta às cinco questões fundamentais, e a Cadeia Crítica para a operacionalização da estratégia da mudança, de forma a alcançar a melhoria do OEE do Sistema em análise.

### 5.1. Árvore de Objetivos (GT)

A aplicação da TOC-TP deve começar pela construção da GT. Este diagrama representa o objetivo (*Goal*) do Sistema, bem como os fatores críticos de sucesso (FCS) e as condições necessárias (CN) para atingir o mesmo. **Os FCS são considerados resultados finais para o alcance do objetivo e as CN representam as atividades necessárias para completar os FCS.** A construção da GT destina-se a representar o objetivo do Sistema que, neste caso, reflete o objetivo do Caso de Estudo e o que deve acontecer no Sistema para que este possa ser bem-sucedido.

Para construção da GT, foi necessário definir o Sistema e as suas fronteiras. No Caso de Estudo desenvolvido, o Sistema em estudo é a linha de produção 5 da área dos Fatiados e as fronteiras identificadas foram:

- “Zona de controlo” constituída pelo Departamento de Engenharia Industrial;
- “Esfera de influência” que engloba os seguintes departamentos: Operações, Qualidade, *Step Change* e Manutenção.;
- “Ambiente exterior” é referente à área que está fora da “esfera de influência”, composta por todos os elementos que são difíceis ou impossíveis de influenciar.

Na Figura 5.1, é possível observar o organigrama da Fábrica com a delimitação da “zona de controlo” e “esfera de influência”.

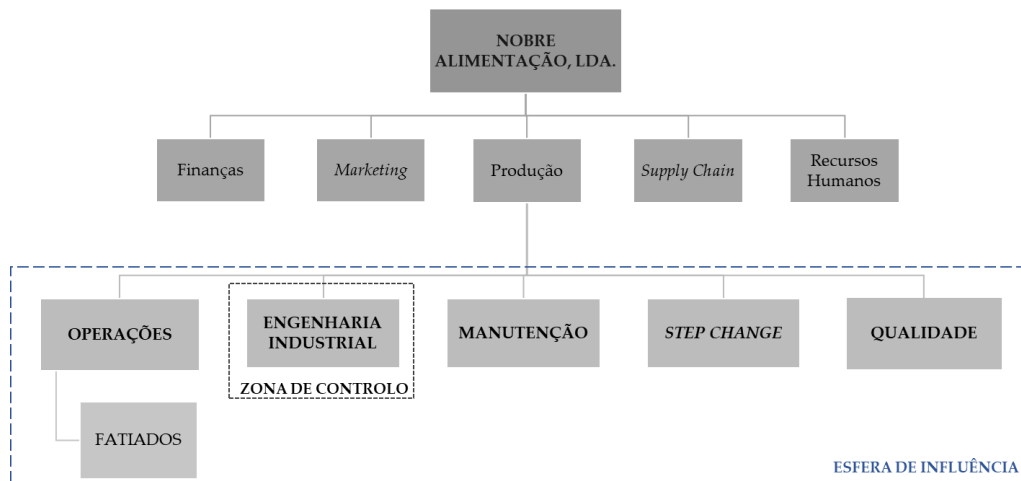


Figura 5.1 Definição dos Limites do Sistema

As seguintes etapas consistiram na definição do objetivo do Sistema, na identificação dos FCS e das CN de forma a conseguir completar a *Árvore de Objetivos*. Neste Caso, a *GT* foi elaborada com a Equipa de *Performance Improvement* com vista a desenvolver um Projeto de Melhoria do OEE da Linha 5 dos Fatiados. Com isto, o objetivo do Sistema foi, claramente, definido: *Melhorar o OEE* - objetivo operacional.

Os FCS foram determinados com base nos três indicadores que compõem o OEE - Disponibilidade, Desempenho e Qualidade - e também se definiram as CN para atingir os FCS que, por sua vez, permitem a concretização do objetivo. A *GT* utilizada como referência para o desenvolvimento deste Caso de Estudo está representada na Figura abaixo.

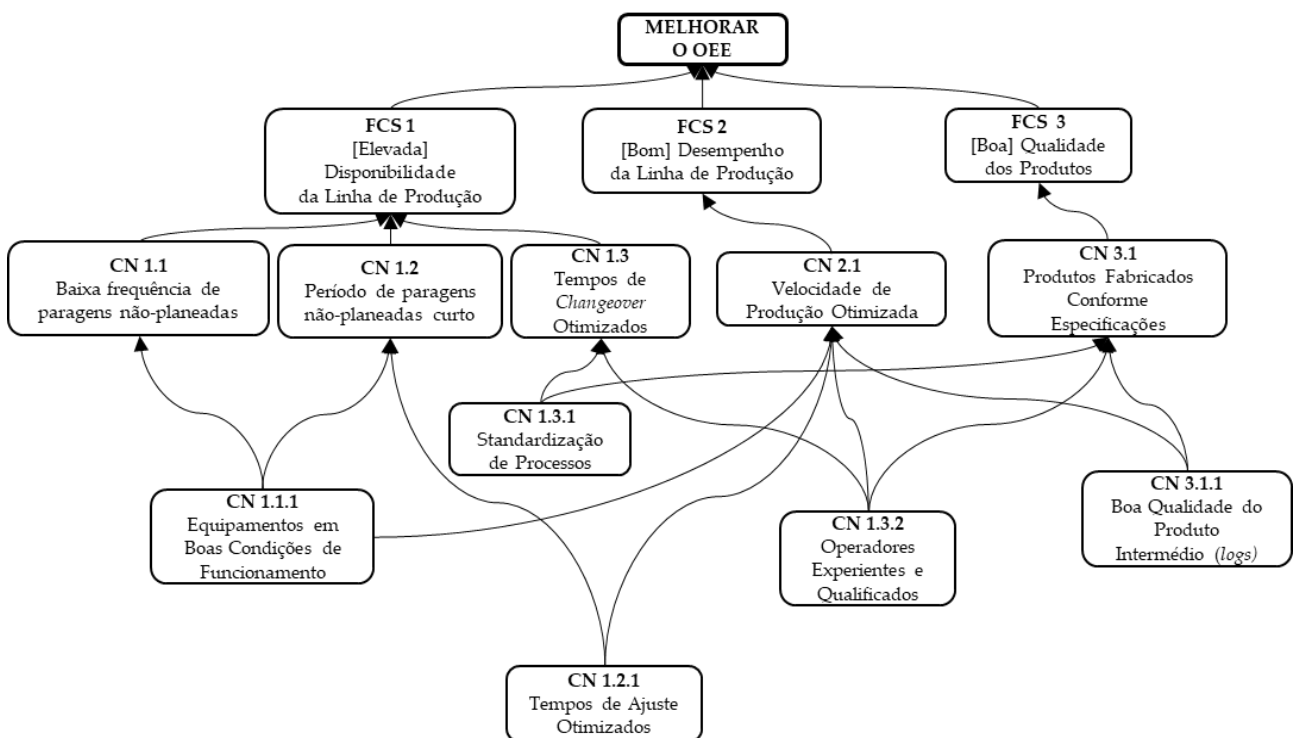


Figura 5.2 *Árvore de Objetivos* final para Melhorar o OEE da Linha 5

Com a GT concluída e aprovada pela Equipa, e para dar continuidade ao processo de reflexão sobre o Sistema foi preciso determinar os efeitos indesejáveis, UDE, que o impedem de *Melhorar o OEE*, vide Tabela 5.1 e Figura 5.3.

Tabela 5.1 Relação entre os UDE e FCS e CN

Fatores Críticos de Sucesso (FCS) e Condições Necessárias (CN)	Efeitos Indesejáveis (UDEs)
FCS 1: Elevada Disponibilidade dos Equipamentos	1.1 Paragens Não-Planeadas 3.3 Baixa Qualidade do Produto Intermédio ( <i>Logs</i> )
FCS 2: Bom Desempenho da Linha de Produção	3.1 Necessidade Frequente de <i>Rework</i>
CN 1.3: Tempos de <i>Changeover</i> Otimizados	1.3 Tempos de Paragens Planeadas Demoradas
CN 2.1: Velocidade de Produção Otimizada	2.1 Existência de Micro-Paragens 2.2 Redução da Velocidade de Produção
CN 3.1: Produtos Fabricados Conforme Especificações	3.1 Necessidade Frequente de <i>Rework</i> 3.2 Embalagens Processadas em Vazio
CN 1.1.1: Equipamentos em Boas Condições de Funcionamento	1.2 Manutenção Ineficiente
CN 1.2.1: Tempos de Ajuste Otimizados	1.4 <i>Design</i> Limitador do Equipamento
CN 1.3.1: Standardização de Processos	1.5 Monitorização Ineficiente de Processos
CN 1.3.2: Operadores Experientes e Qualificados	1.6 Operadores com Competências Limitadas
CN 3.1.1: Boa Qualidade do Produto Intermédio ( <i>Logs</i> )	3.3 Baixa Qualidade do Produto Intermédio ( <i>Logs</i> )

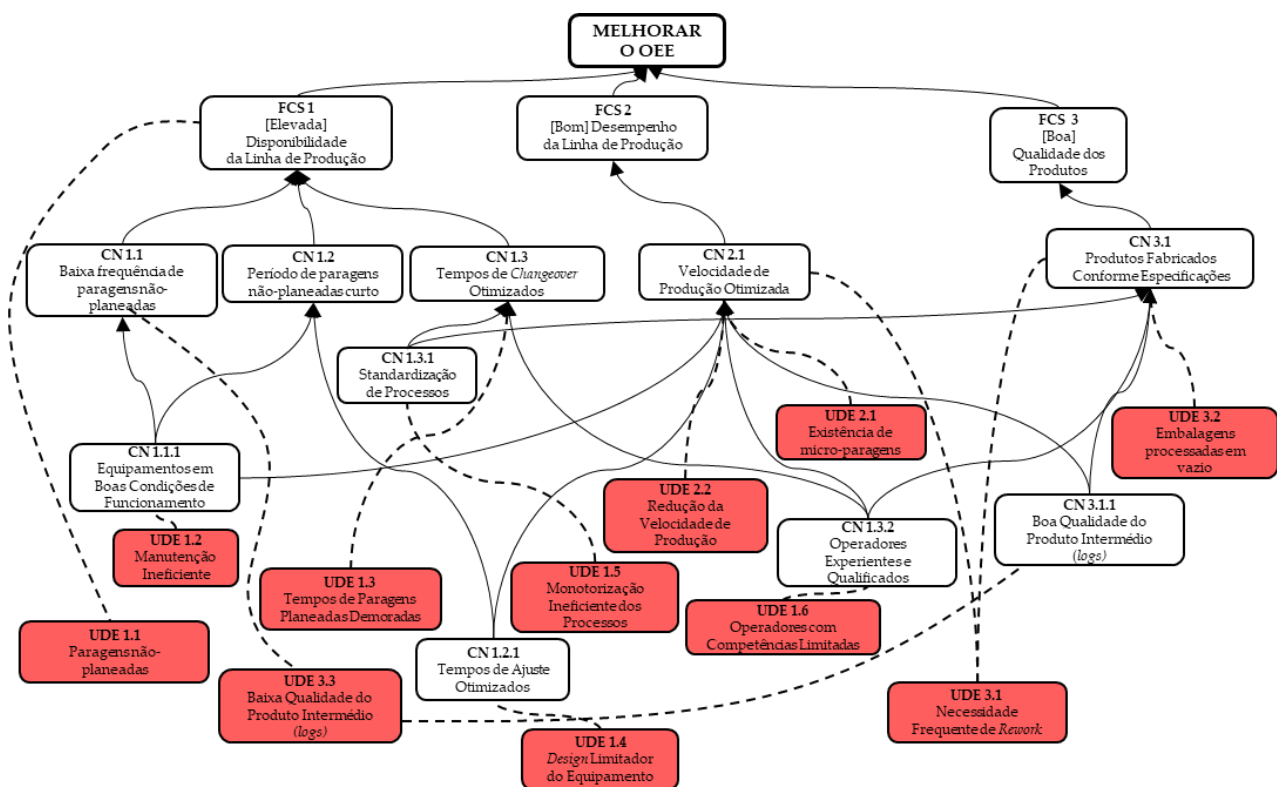


Figura 5.3 Árvore de Objetivos final com os UDE

Os UDE ou sintomas identificados refletem os problemas atuais que estão a inibir a Linha de conseguir alcançar um melhor desempenho. Os UDE são resultados visíveis (negativos) em relação ao objetivo, FCS ou CN do Sistema. Os onze UDE determinados são o resultado de diversas sessões de *brainstorming* onde se iteraram diversas listas de UDE até se obter uma versão que refletisse de forma legítima e simplificada a situação atual do Sistema (Tabela 5.1).

## 5.2. Árvore da Realidade Atual (CRT)

A CRT representa visualmente os UDE identificados previamente, identificando as respetivas causas-raiz que estão a desencadear deficiências no Sistema, impedindo o mesmo de atingir o seu objetivo.

Para o presente Caso de Estudo, com base na análise e interpretação dos dados recolhidos em relação ao OEE da Linha 5 e no acompanhamento de produções, foi desenvolvida a CRT. Através do processo de reflexão da TOC, com base na lógica causa-efeito, foi desenvolvido o diagrama que permite, visualmente, compreender a lacuna/o *gap* que existe no Sistema em estudo, ou seja, o que está a impedir a linha de alcançar um melhor valor de OEE.

O OEE da Linha 5 é calculado a partir da Embaladora (referido no capítulo 3), significando isto que todos os fatores, internos, externos, controláveis ou não, que influenciam as operações realizadas pelo equipamento (área delineada a verde na Figura 3.3) bem como as operações a montante, vão fazer-se refletir na CRT. É possível observar o diagrama nas Figuras 5.6, 5.7, 5.8. A árvore resultante é uma estrutura complexa, dividida em três partes para facilitar a visualização da mesma. Para garantir a compreensão e uma visão geral da CRT, alguns pontos a considerar são:

- As entidades sombreadas a cinzento representam os UDE que se fazem sentir no Sistema em análise, ou seja, da Linha 5. As restantes entidades com um simples contorno preto representam as causas intermédias que representam a relação, numa lógica de causa-efeito, entre os diversos UDE e as suas causas-raiz;
- Os círculos presentes na CRT correspondem a UDE ou causas intermédias que estão na origem ou destino da entidade em questão;
- Algumas causas intermédias estão preenchidas a cores (e.g., entidade 114) para auxiliar a compreensão da árvore. O “código de cores” permite o leitor acompanhar as relações causa-efeito entre algumas entidades, visto que o diagrama está repartido em três partes;
- Existe um *loop* de reforço negativo presente na CRT que se encontra indicado com uma seta vermelha a tracejado (Figura 5.7). O UDE 3.1. é responsável por reforçar uma das causas que o produz – o UDE 2.1. O *loop* pode ler-se da seguinte maneira: “*Se existem micro-paragens então não é realizada a devida marcação da data de validade e a identificação do produto nas embalagens. Se a marcação das embalagens não é devida, então há necessidade frequente de rework. Se há necessidade frequente de rework então existem micro-paragens*”;

A lógica é válida pois durante o acompanhamento de diversas produções foi possível concluir que o re-embalamento de porções é um processo de constante “pára-arranca” – a Embaladora precisa de estar parada para que os operadores tenham tempo de abrir e retirar as porções das embalagens não-conformes e colocá-los nos novos moldes de embalagem. Depois, o equipamento arranca de novo para dar continuidade ao processo de embalagem e assim sucessivamente até terminarem todas as embalagens não conformes.

- É possível observar diferentes símbolos na CRT: O MAG, utilizado para reforçar o efeito que duas ou mais causas independentes têm sobre uma mesma entidade. Na Figura 5.4 está representada uma relação MAG: “As entidades 326, 327 e 328 produzem, independentemente, o efeito 324. Quando as três entidades atuam em simultâneo, o efeito 324 é significativo.” Outro símbolo presente na CRT é a Elipse, utilizada para indicar que duas ou mais causas em conjunto são suficientes para dar origem a um efeito, no caso da Figura 5.5, o UDE 1.6 é produzido por duas causas em conjunto – as entidades 160 e 161, i.e., “temos a entidade 160 e a entidade 161 que dão o UDE 1.6” ;

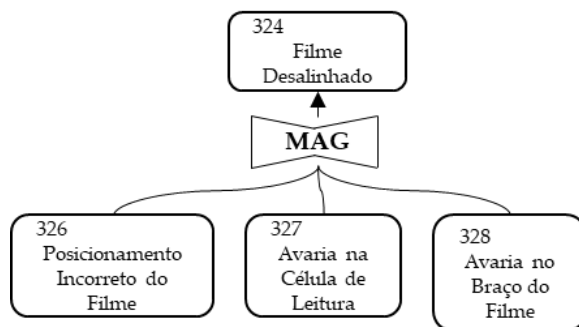


Figura 5.4 Exemplo de uma relação MAG na CRT

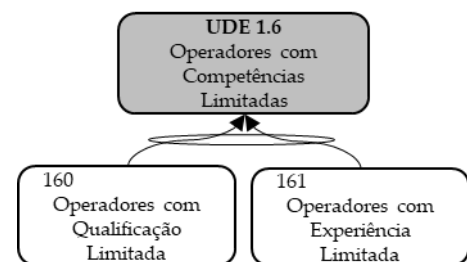


Figura 5.5 Exemplo do símbolo Elipse na CRT

- Exemplificação da leitura de um ramo da CRT: “*Se existe limitação de investimento na formação de operadores então os operadores têm qualificações limitadas; se existem operadores com qualificações limitadas [e operadores com experiência limitada] então os operadores têm competências limitadas (UDE 1.6). Se existem operadores com competências limitadas então o posicionamento da porção na embalagem é incorreto. Se o posicionamento da porção na embalagem é incorreto então o produto fica entalado (não conforme). Se o produto fica entalado [e a data de validade e identificação do produto é ilegível, e embalagens com excesso de vácuo, e embalagens apresentam valores O2 e CO2 incorretos, e embalagens com má aplicação de rótulos e embalagens com material defeituoso] então há frequente necessidade de rework (UDE 3.1)*”.

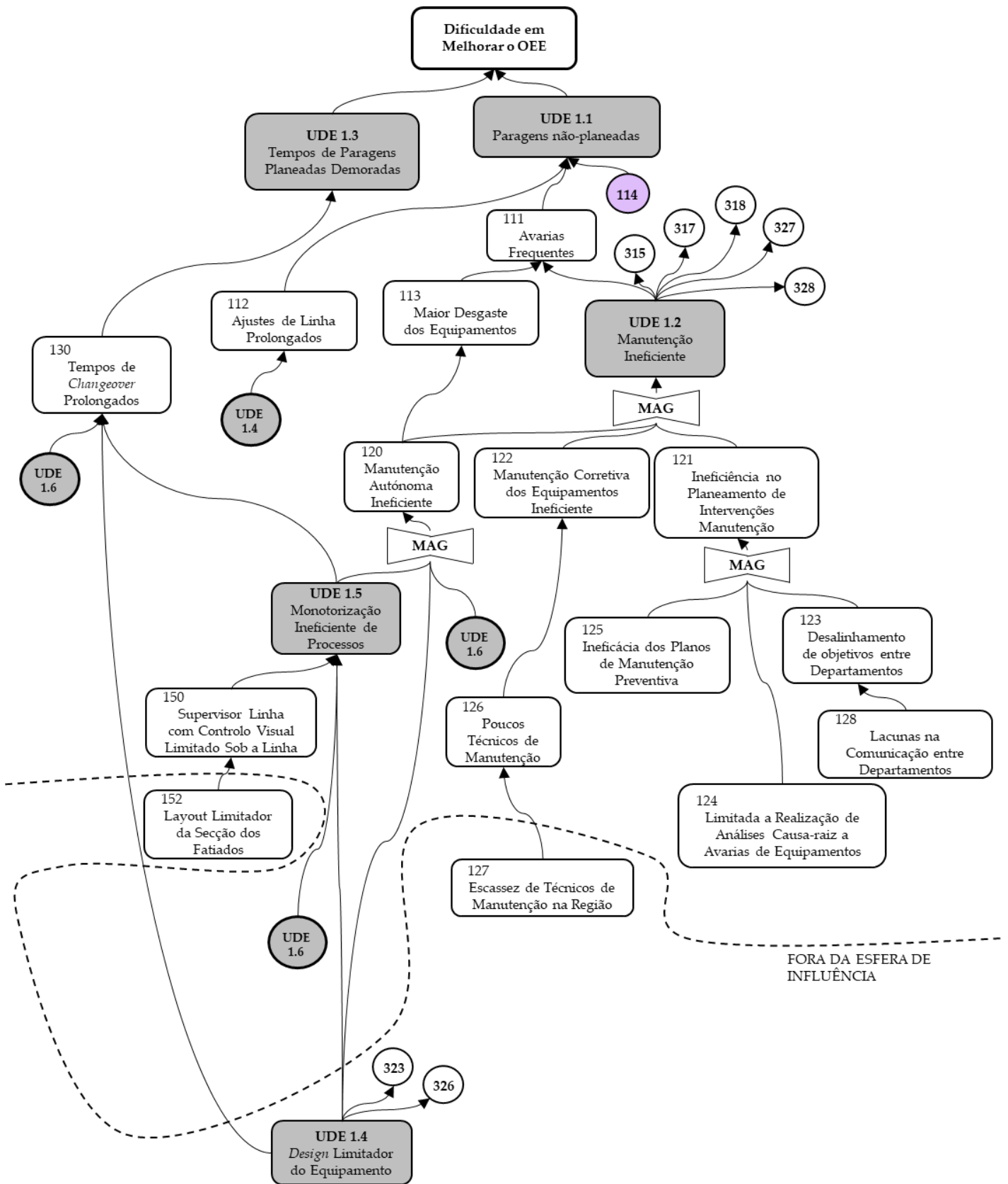


Figura 5.6 Árvore da Realidade Atual (1)

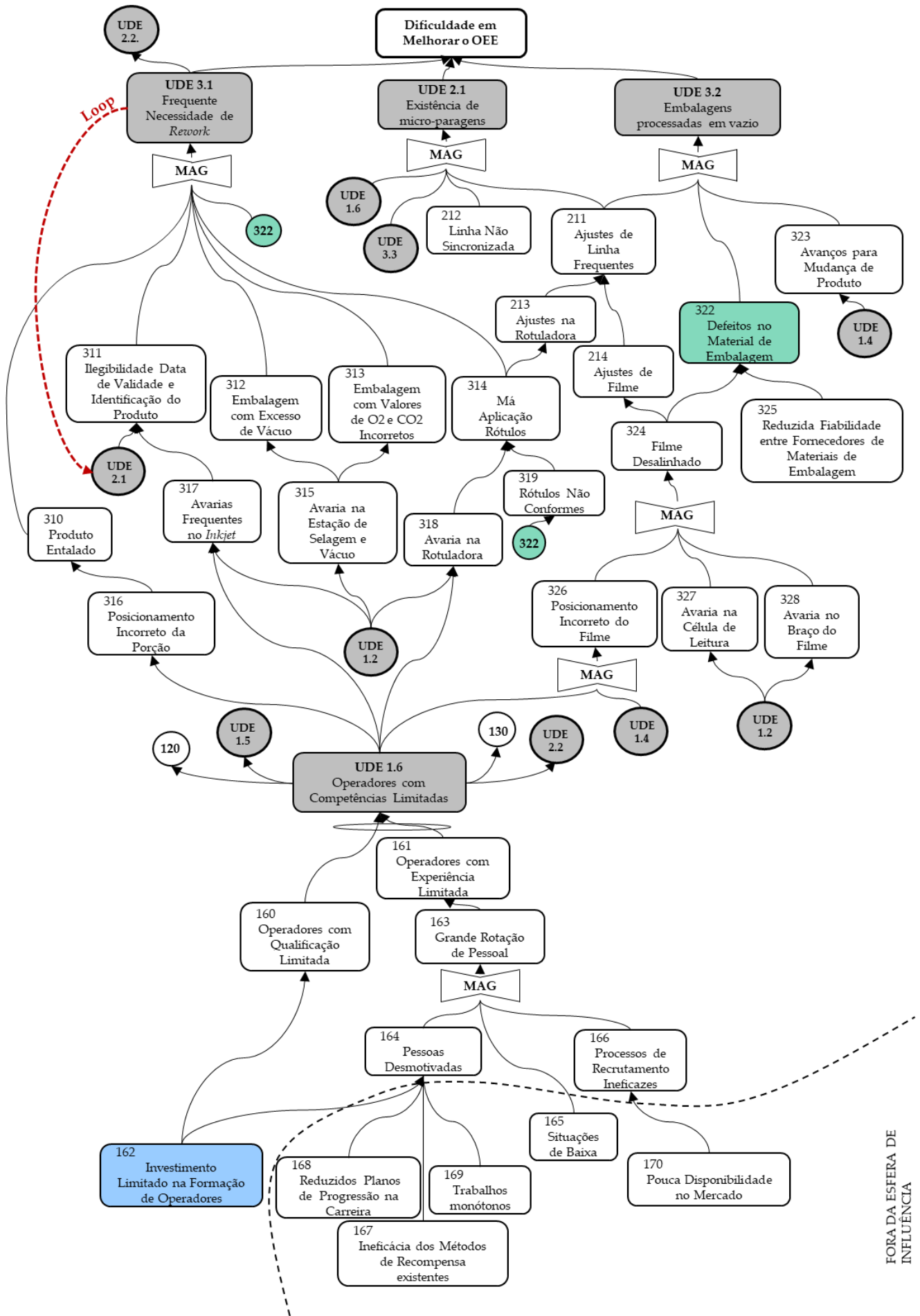


Figura 5.7 Árvore da Realidade Atual (2)

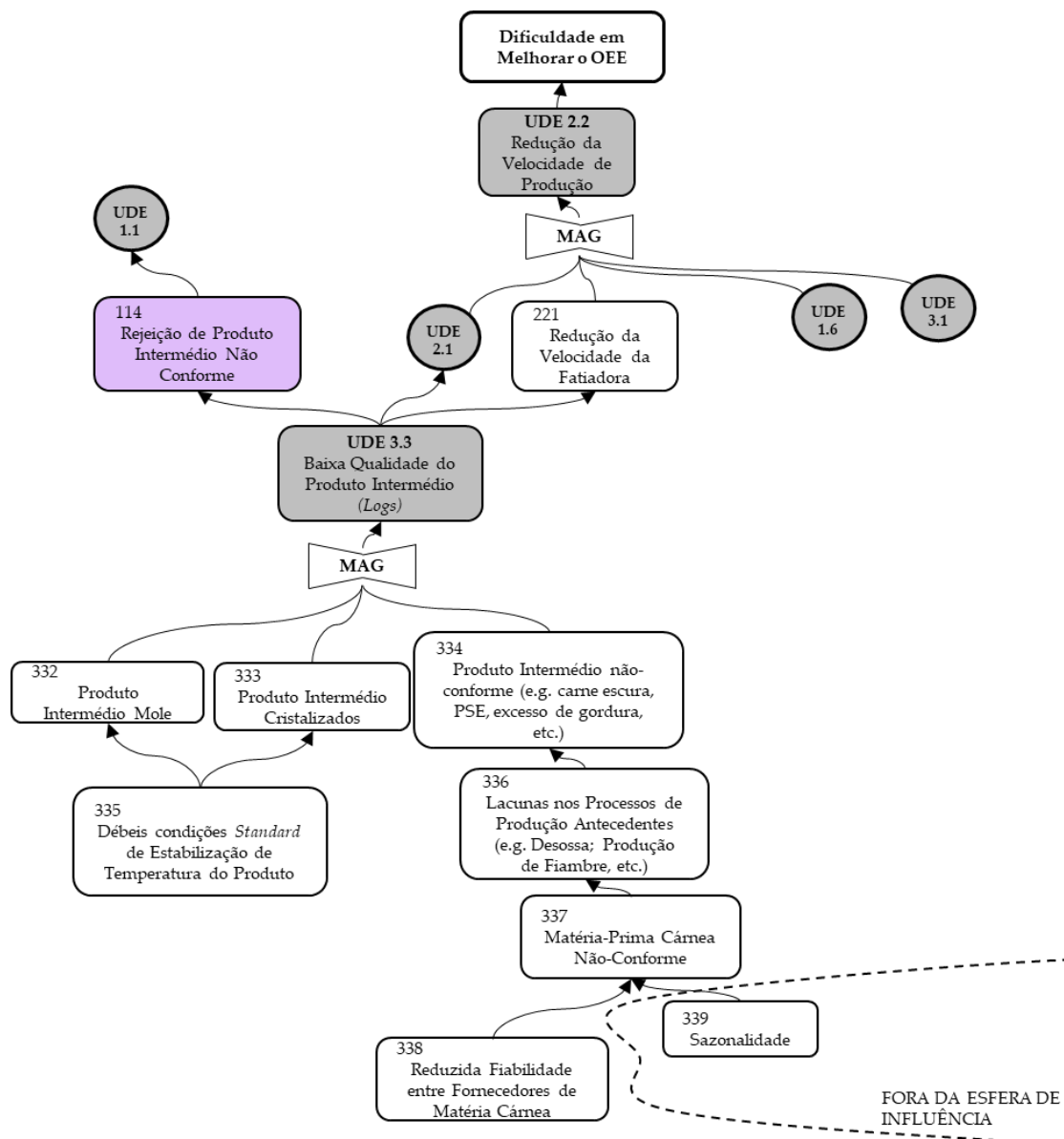


Figura 5.8 Árvore da Realidade Atual (3)

- As entidades 127, 152, 165, 168, 169, 170 e 339 são identificadas como causas-raiz porque estão no nível mais baixo de causalidade, no entanto encontram-se fora da esfera de influência definida. Como tal, estas causas dificilmente serão eliminadas e continuarão a existir. Por exemplo, a Sazonalidade (339) é uma realidade que é aceite como um fator indesejável e não controlável.

Os UDE, e as respetivas causas-raiz, não têm todos o mesmo impacto no Sistema em análise. Existem UDE que vão impedir, de forma mais significativa, o alcance do objetivo que outros. Regra geral, estes UDE são responsáveis pela origem de outros. As relações existentes entre os UDE do Sistema estão representadas na CRT simplificada, sem causas intermédias (Figura 5.9).

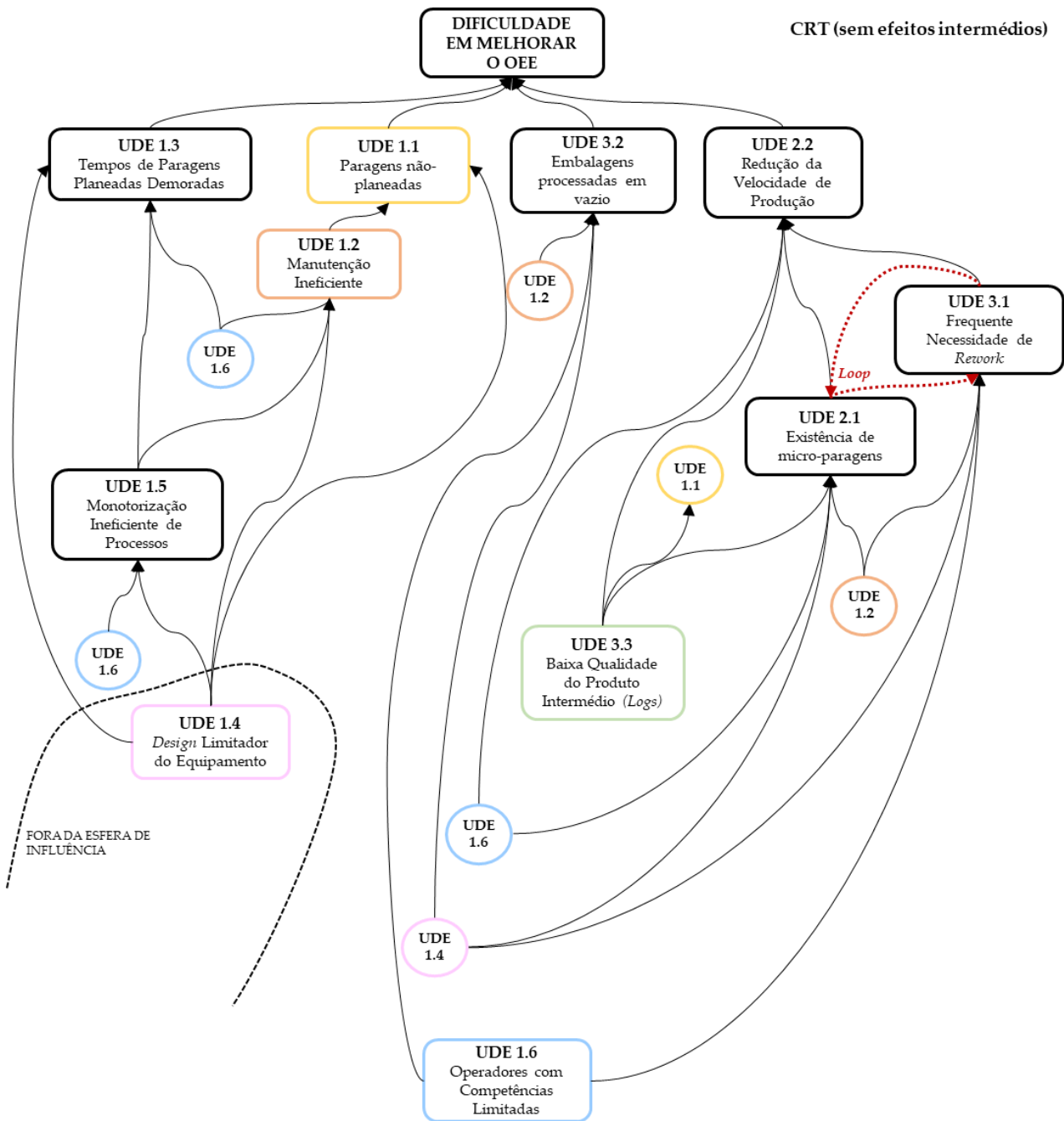


Figura 5.9 CRT simplificada sem causas intermédias

Para a construção da CRT sem as causas intermédias foi, também, utilizado um “código de cores” para garantir uma melhor identificação das relações entre os UDE na CRT original. Com base na Figura acima, foi possível construir a matriz (Tabela 5.2) onde estão identificados os UDE e o impacto que cada um tem no Sistema. Os valores da coluna “% de UDE originados” correspondem ao quociente do número de ligações entre um UDE com os restantes e o número total de UDE no Sistema, por exemplo, o UDE 1.2 “Manutenção Ineficiente” tem ligações com os UDE 1.1, 2.1, 2.2, 3.1 e 3.2, i.e., a seta que sai da entidade UDE entra em cinco dos onze UDE, obtendo o valor de 45%.

Tabela 5.2 Matriz para cálculo do impacto dos UDE do Sistema

UDE	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	% de UDE Originados
1.1	■											0%
1.2	x	■					x	x	x	x		45%
1.3			■									0%
1.4	x	x	x	■	x		x	x	x	x		73%
1.5	x	x	x		■		x	x	x	x		64%
1.6	x	x	x		x	■	x	x	x	x		73%
2.1							■	x	x			18%
2.2								■				0%
3.1							x	x	■			18%
3.2										■		0%
3.3	x						x	x			■	27%

Como referido no subcapítulo 2.2.1.2, Goldratt defende que o objetivo da CRT é encontrar o *core problem* responsável pela origem da maioria dos UDE de um Sistema, apresentando o critério dos “70 Percent”.

Por outro lado, Dettmer afirma que é preciso selecionar as causas-raiz críticas (CRC) que, para além de se encontrarem no nível mais baixo de causalidade, são controláveis, pois estão dentro da esfera de influência definida. Esta abordagem, utilizada no presente Caso de Estudo, irá permitir focar os esforços em cerca de quatro ou cinco problemas, em vez de um único *core problem*. Como tal, a Tabela 5.3 apresenta as causas-raiz e as CRC da linha de produção.

Tabela 5.3 Causas-raiz e CRC identificadas na CRT

Nº	Causa-Raiz	Esfera de Influência	CRC
124	Limitada a Realização de Análises Causa-raiz a Avarias de Equipamentos	DENTRO	x
125	Ineficácia de Planos de Manutenção Preventiva	DENTRO	x
127	Escassez de Técnicos de Manutenção na Região	FORA	
128	Lacunas na Comunicação entre Departamentos	DENTRO	x
152	Layout Limitador da Secção dos Fatiados	FORA	
162	Investimento Limitado na Formação de Operadores	DENTRO	x
165	Situações de Baixa	FORA	
167	Ineficácia dos Métodos de Recompensa Existentes	FORA	
168	Reduzidos Planos de Progressão de Carreira	FORA	
169	Trabalhos Monótonos	FORA	
170	Pouca Disponibilidade no Mercado	FORA	
212	Linha Não Sincronizada	DENTRO	x
325	Reduzida Fiabilidade entre Fomecedores de Materiais de Embalagem	DENTRO	x
335	Débeis condições <i>standard</i> de estabilização de temperatura do produto	DENTRO	x
338	Reduzida Fiabilidade entre Fomecedores de Matéria Cámea	DENTRO	x
339	Sazonalidade	FORA	
UDE 1.4	<i>Design</i> Limitador do Equipamento	FORA	

As CRC são responsáveis pela origem de UDE e estão dentro da esfera de influência. Assim, ao eliminar ou minimizar as CRC é possível eliminar as respectivas causas intermédias e UDE. Com os esforços focados na eliminação das CRC será mais fácil a resolução de efeitos (problemas) que dificultam o cumprimento da *Melhoria do OEE* da Linha 5. Neste Caso de Estudo, as causas-raiz críticas identificadas são:

- (124) Limitada a Realização de Análises Causa-raiz a Avarias de Equipamentos
- (125) Ineficácia de Planos de Manutenção Preventiva
- (128) Lacunas na Comunicação entre Departamentos
- (162) Investimento Limitado na Formação de Operadores
- (212) Linha Não Sincronizada
- (325) Reduzida Fiabilidade entre Fornecedores de Materiais de Embalagem
- (335) Débeis Condições *Standard* de Estabilização de Temperatura
- (338) Reduzida Fiabilidade entre Fornecedores de Matéria Cárnea

Aplicando o critério de Goldratt, existem dois *core problems* presentes no Sistema: o UDE 1.4 - *Design* Limitador do Equipamento - e o UDE 1.6 - Operadores com Competências Limitadas - pois ambos originam 70% ou mais dos restantes UDE (Tabela 5.2).

No entanto, o UDE 1.4 está fora da esfera de influência definida, desta forma, não será foco de melhoria neste Caso. Analisando o UDE 1.6., é possível observar que este tem associados sete CRC (entidades: 162, 165, 167, 168, 169, 170), porém seis das entidades encontram-se fora da esfera de influência, exceto a entidade 162 - Investimento Limitado na Formação de Operadores.

Com a identificação das causas-raiz (Tabela 5.3), a Empresa fica a conhecer os principais problemas que estão a impedir a Linha 5 de atingir o seu melhor desempenho. É relevante salientar que a principal restrição do Sistema está relacionada com a necessidade de desenvolvimento das competências dos operadores (UDE 1.6.) que é produzido em grande parte pela limitada experiência dos operadores (entidade 161) na função devido à rotação de pessoal (entidade 163) - realidade que a Empresa enfrenta. No entanto, as causas-raiz associadas a esse fator estão fora da esfera de influência (vide Figura 5.7), sendo apenas possível mudar os fatores que se encontram dentro desta esfera.

Para a linha alcançar o valor de OEE desejado é necessário concentrar os esforços nas oito CRC identificadas. No entanto, através da eliminação ou minimização das quatro CRC (controláveis) que provocam o aparecimento dos UDE com **maior impacto na linha** - UDE 1.6., 1.5. e 1.2 - será possível diminuir o *gap* existente entre a realidade atual do Sistema (Linha 5) e o alcance do seu objetivo.

Assim, é possível concluir que o foco das iniciativas de melhoria deve estar nas CRC que desencadeiam os UDE 1.2 e 1.6. Essas CRC são: (162) Investimento Limitado na Formação de Operadores; (124) Limitada a Realização de Análises Causa-raiz a Avarias de Equipamentos; (125) Ineficácia de Planos de Manutenção Preventiva e (128) Lacunas na Comunicação entre Departamentos.

Segundo Goldratt, a maioria das causas-raiz existem porque têm um conflito subjacente que perpetua a existência desse problema, caso contrário o problema já teria sido resolvido há muito tempo. Assim, desenvolveu o Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD) com o objetivo de expor e resolver conflitos.

### 5.3. Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD)

Neste Caso de Estudo, para exemplificar a aplicação do CRD, foram desenvolvidos dois CRD associados aos conflitos das seguintes causas-raiz críticas: **(162)** Investimento Limitado na Formação de Operadores e a **(124)** Limitada a Realização de Análises Causa-raiz a Avarias de Equipamentos. Para cada conflito foi desenvolvido o respectivo CRD, sendo possível expor os elementos mais importantes do conflito e resolvê-lo através da criação de injeções (ideias para soluções). Após a resolução dos conflitos, torna-se mais fácil eliminar as causas-raiz críticas e, conseqüentemente, os UDE, contribuindo para a *Melhoria do OEE* da linha de produção.

#### 5.3.1. Diagrama de Resolução de Conflitos para a CRC 162

Identificada a situação onde se suspeita a existência de um conflito é necessário verbalizá-lo de forma clara através da construção do CRD. Na Figura 5.10 é possível observar o CRD da CRC 162 - Investimento Limitado na Formação de Operadores - onde o objetivo (A) do diagrama é o mesmo definido na GT; o primeiro pré-requisito (D) é a CRC identificada pois a sua existência é sustentada pela existência de um conflito. Por oposição, o segundo pré-requisito (D') é o efeito desejável na situação em análise - "Reforço de Investimento na Formação dos Operadores". Por último, os requisitos (B e C) são definidos como condição necessária para satisfazerem o objetivo (A). Por sua vez, os requisitos devem ser sustentados, de forma lógica, pelos pré-requisitos (D e D').

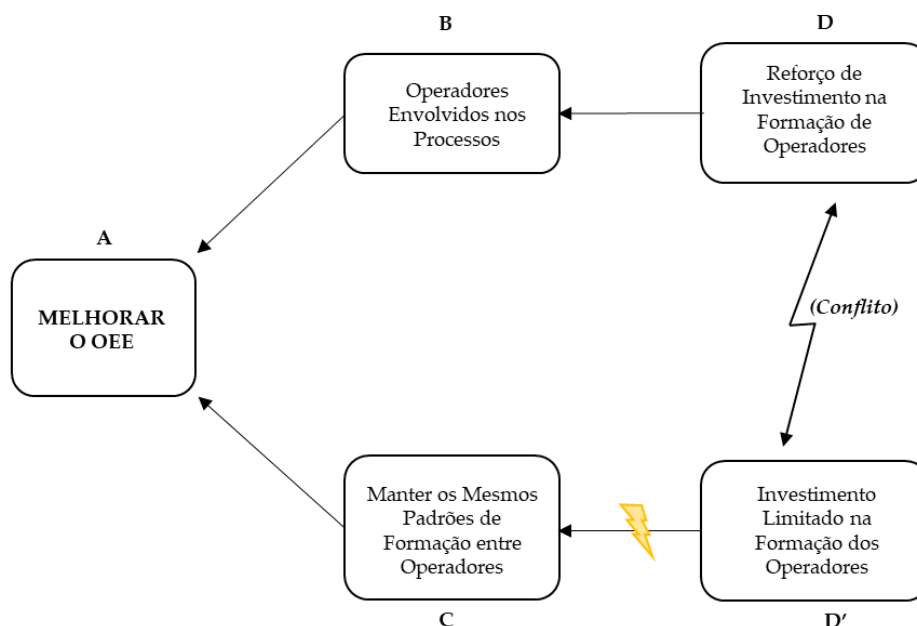


Figura 5.10 CRD para a CRC 162  
"Investimento Limitado na Formação de Operadores"

O CRD lê-se da esquerda para a direita, verbalizando *“Para termos ... temos de...”*. Seguindo este raciocínio, o diagrama acima apresentado (Figura 5.10), pode ler-se da seguinte maneira: *“Para melhorar o OEE da Linha 5 (A) é preciso que os operadores estejam envolvidos nos processos (B) e é preciso garantir que se mantêm os mesmos padrões de formação entre operadores (C)”*. No desenvolvimento do CRD é, também, preciso criar pressupostos que justifiquem a existência de cada uma das ligações presentes no diagrama. Para resolver o conflito é necessário encontrar pelo menos um pressuposto inválido, ou um que possa ser invalidado, e quebrá-lo com injeções.

Para a ligação AB, a geração dos pressupostos é feita através do pensamento lógico *“Se temos A temos de ter B porque...”*, respondendo à questão *“Porquê?”* é possível criar diversos pressupostos para uma só ligação. A lógica apresentada para a criação de pressupostos é transversal para os CRDs desenvolvidos. Todos os pressupostos que justificam as diversas ligações dos CRD foram validados pela equipa de *Performance Improvement*.

Através do desenvolvimento de pressupostos para cada ligação do CRD da CRC 162 e da análise do mesmo, é possível perceber que a ligação mais vulnerável é a CD’: *“Para melhorar o OEE da Linha 5 (A) temos de manter os mesmos padrões de formação entre operadores (C) e devido a esta realidade significa que investimento na formação dos operadores é limitado (D’)”*. Os pressupostos que justificam a existência da ligação em análise são desenvolvidos seguindo a lógica de *“para termos C temos de ter D’ porque...”*. Os pressupostos resultantes são apresentados seguidamente:

1. As ações de formação atualmente realizadas são consideradas suficientes.
2. Os operadores demonstram pouco interesse pela formação concedida.
3. Formação com melhor qualidade tem custos associados.
4. Os operadores aperfeiçoam as suas *skills* através do trabalho “em campo”.

Os pressupostos gerados para justificar a existência da ligação CD’ podem ser invalidados, sendo possível quebrar a ligação. Para tal, é necessário desenvolver injeções (Tabela 5.4) que quebrem pelo menos um dos pressupostos acima listados.

Tabela 5.4 Injeções para a eliminação da CRC 162

Pressupostos	Injeções Propostas
3. 4.	Equipas TPM dão Formação de Boas Práticas a Operadores
2. 3.	<i>Stand-Up/Improvement Boards</i>
1. 4.	Treino específico consoante as Lacunas verificadas nas <i>skills</i> dos Operadores

### 5.3.2. Diagrama de Resolução de Conflitos para a CRC 124

Para a construção do CRD correspondente ao conflito oculto da CRC 124 - Limitada a Realização de Análises Causa-raiz acerca das Avarias de Equipamentos - foi seguido o mesmo procedimento acima descrito, para o desenvolvimento e análise do CRD da CRC 162.

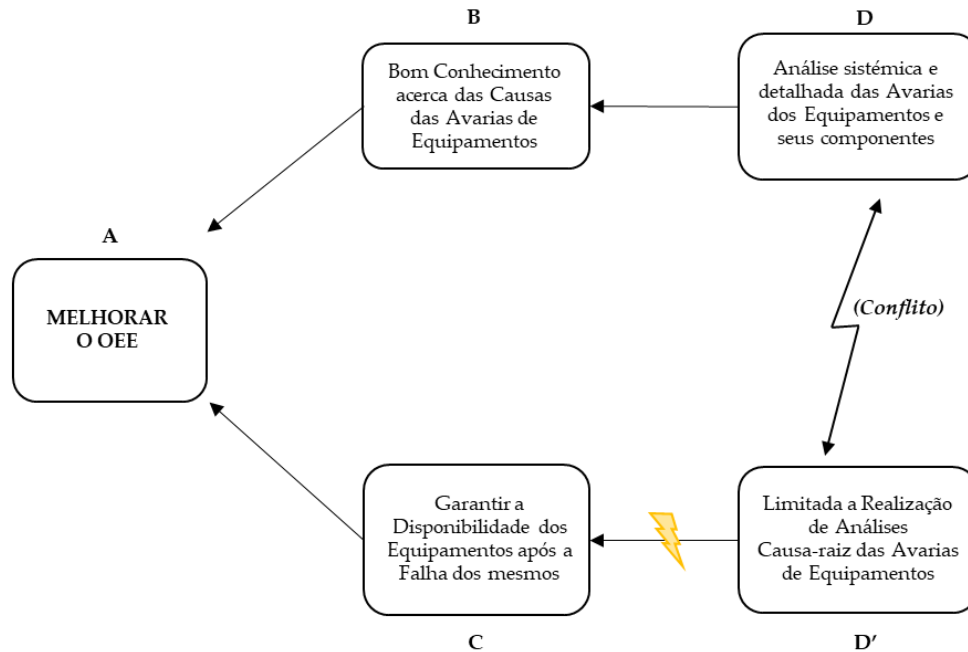


Figura 5.11 CRD para a CRC 124  
“Limitada a Realização de Análises Causa-raiz acerca das Avarias de Equipamentos”

Observando a Figura 5.11, é possível constatar que a entidade A da CRD é igual à entidade A do CRD da CRC 162, isto porque a entidade A em qualquer dos CRD corresponde sempre ao objetivo definido na GT. Nesta situação, o conflito é criado devido à contradição entre os pré-requisitos (D e D’): “Limitada a Realização de Análises Causa-raiz acerca das Avarias de Equipamentos” e “Análise sistêmica e detalhada das Avarias dos Equipamentos e seus componentes”. Pela interpretação do CRD, as ligações mais fáceis de quebrar são as que se encontram na parte inferior do diagrama: “Para melhorar o OEE da Linha 5 (A) temos de garantir a disponibilidade dos equipamentos após a avaria dos mesmos (C) e devido a esta realidade significa a realização de análises causa-raiz das Avarias dos Equipamentos é limitada(D’)”.

Para este CRD, a ligação selecionada para quebrar foi a CD’. Foram desenvolvidos pressupostos respondendo à questão: “Porque é que para garantir a disponibilidade dos equipamentos, após a falha dos mesmos, significa que a realização de análises causa-raiz acerca das avarias dos equipamentos é limitada?” Os pressupostos criados estão apresentados na Tabela 5.5, bem como as injeções criadas na expectativa de conseguir eliminá-los, deixando assim de existir conflito.

Tabela 5.5 Pressupostos e injeções relativas à CRC 124

Pressupostos	Injeções
Os técnicos de manutenção têm todo conhecimento necessário acerca dos os equipamentos e das respetivas avarias.	Realizar formações sobre análises causa-raiz (Apresentação dos benefícios e.g., caso real numa fábrica).
Os técnicos de manutenção não têm formação para realizar a análise das falhas focando-se, assim, nas reparações das mesmas.	Assegurar o acompanhamento, por parte do Dep.º Eng.ª Industrial, na realização das análises causa-raiz.
O tempo disponível é somente dedicado à reparação de equipamentos e seus componentes.	
O ambiente da Oficina apenas estimula o trabalho físico (i.e., reparações dos equipamentos).	Criação de um ambiente que proporcione momentos de análise
O número de técnicos de manutenção disponíveis é limitado para o número de equipamentos que requerem manutenção.	

Uma vez desenvolvidos os CRD para todas as CRC - selecionadas como prioritárias - é necessário reunir as injeções que vão ser introduzidas no Sistema (Linha 5). Todas as injeções propostas (com o objetivo de eliminar/minimizar as CRC identificadas) foram desenvolvidas em conjunto com a equipa de *Performance Improvement* e alvo de análise e validação por parte do coordenador do departamento E.I., de forma a selecionar as injeções que vão ser implementadas, indicadas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Injeções Propostas

Nº Injeção	Descrição	Implementação?	
		Sim	Não
<b>(124) Limitada a Realização de Análises Causa-Raiz a Avarias de Equipamentos</b>			
I124a	Formações de Análises Causa-Raiz (Apresentação dos benefícios, e.g., caso real numa fábrica)	x	
I124b	Criação de um ambiente, na Oficina, que proporcione momentos de análise (Oficina é oficina, não há condições para inspirar e estimular a reflexão e o pensamento crítico)	x	
<b>(125) Ineficácia de Planos de Manutenção Preventiva</b>			
I125	Planos de Manutenção Preventiva apresentados fornecedor do equipamento	x	
<b>(128) Lacunas na Comunicação entre Departamentos</b>			
I128a	<i>Team-Building Workshops</i>	x	
I128b	Resumo escrito da Intervenção e indicação de ações a realizar para prevenção da repetição da mesma	x	
I128c	Supervisores de linha acompanham os Técnicos nas Resoluções de Avarias	x	
I128d	Auditorias diárias aos equipamentos chave que são alvo de manutenção autónoma	x	
I128e	Reunião mensal entre o Gestor de Manutenção, o Gestor e Supervisor de linha para discutir os principais problemas e aspetos a melhorar	x	
<b>(162) Investimento Limitado na Formação de Operadores</b>			
I162a	Equipas TPM dão Formação de Boas Práticas a Operadores	x	
I162b	Treino específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos operadores	x	
I162c	<i>Stand-Up/Improvement Boards</i>		x

A injeção 162c não foi selecionada para implementação pois a Empresa concretizou, no passado, dinâmicas de *stand-up/improvement boards* na área dos Fatiados, mas as melhorias não foram notáveis, como tal não seria uma prioridade de momento.

Na Tabela abaixo, estão apresentadas outras injeções, denominadas de “Adições Lógicas” desenvolvidas com base nos efeitos desejáveis (DE) que se pretendem alcançar, através da eliminação das CRC selecionadas, respondendo à questão: *“O que deve ser introduzido na realidade existente [do Sistema] para produzir o efeito desejável?”*

Tabela 5.7 Injeções "Adições Lógicas"

Nº Injeção	Descrição	Implementação?	
		Sim	Não
<b>(DE 1.2) Manutenção Eficaz e Eficiente</b>			
IA1	Assegurar acompanhamento do Dep.º Engenharia Industrial na Realização das Análises	x	
<b>(DE 1.6) Operadores com Todas as Competências Necessárias</b>			
IA2	Criação Sistema de Atribuição de Prêmios para Projetos de Melhoria Contínua	x	

Para a construir a Árvore da Realidade Futura (FRT), diagrama que sucede o CRD, foi necessário analisar todas as injeções propostas com o coordenador do departamento E.I., para determinar quais seriam introduzidas na FRT e, conseqüentemente, implementadas na linha de produção. Para tal, adaptando a metodologia apresentada em [85], construiu-se uma Matriz de Exequibilidade, Figura 5.12, definida pela multiplicação do índice de Dificuldade (D) [de execução da injeção] e do índice de Eficácia (E), seguidamente apresentada:

Índice de Dificuldade (D)		Índice de Eficácia (E)		Matriz de Exequibilidade		
Fácil (F)	1	Alto (A)	1	1	2	3
Acessível (A)	2	Intermédio (I)	2	2	4	6
Complicado (C)	3	Baixo (B)	3	3	6	9
Impossível (I)	4			4	8	12

Figura 5.12 Matriz de Exequibilidade e Respetivos Índices de Dificuldade e Eficácia  
Fonte: Gaspar, M. (2019)

O índice D é definido por quatro níveis, sendo menor com valor igual a 1, correspondente a nível Fácil (F), e o nível mais elevado, correspondente a um nível Impossível (I), de valor 4. Existem ainda dois níveis correspondentes a dificuldade intermédia, o nível Acessível (A) e o Complicado (C), com valores 2 e 3, respetivamente. O índice E é definido por três níveis: o nível Alto (A), com valor de 1; o nível Intermédio (I) com o valor de 2 e, por fim, o nível Baixo (B) com o valor de 3.

Os valores representados na matriz da Figura 5.12 são resultado da multiplicação das diferentes combinações possíveis entre os diferentes níveis dos Índices acima descritos, (D) e (E). A matriz é definida por três zonas: a zona verde que compreende os valores de 1 a 3; a zona amarela que compreende os valores de 4 a 6 e a zona vermelha que compreende valores de 8 a 12; podendo o valor da multiplicação Dificuldade x Eficiência cair numa das zonas verde, amarela e vermelha, a exequibilidade é “Sim”, “Talvez” e “Não”, respetivamente. O

ideal é obter o menor valor do produto dos dois índices, ou seja, a injeção ter um nível de dificuldade fácil (D=1) e um índice de eficácia alto (E=1).

Com os critérios de seleção de injeções, com base na exequibilidade das mesmas, seguiu-se a atribuição de pontuações para as injeções das CRC e as injeções adicionais, apresentadas nas Tabelas 5.8 e 5.9.

Tabela 5.8 Grau de Exequibilidade das Injeções Propostas

Injeção	D	E	D x E	Exequível?	NBR
Realizar Formações sobre Análises Causa-Raiz.	2	3	6	Talvez	Não
Criação de um ambiente que proporcione momentos de análise.	3	1	3	Sim	Não
Planos de Manutenção Preventiva Apresentados pelo Fornecedor do Equipamento	2	1	2	Sim	Não
Realização de <i>Team-Building Workshops</i>	2	2	4	Talvez	Não
Resumo escrito da Intervenção realizada e Indicação de ações preventivas	3	2	6	Talvez	Não
Supervisores de Linha acompanham Técnicos de manutenção nas Resoluções de Avarias	3	1	3	Sim	Talvez
Auditorias Diárias aos Equipamentos Chave da Linha	2	2	4	Talvez	Não
Reunião Mensal entre o Gestor de Manutenção e o Gestor e Supervisor de Linha	3	1	3	Sim	Não
Equipas TPM dão Formação de Boas Práticas a Operadores	2	2	4	Talvez	Não
Treino específico consoante as lacunas verificadas nas <i>skills</i> dos operadores	3	1	3	Sim	Não

Tabela 5.9 Grau de Exequibilidade das Injeções “Adições Lógicas”

Injeção Adição Lógica	D	E	D x E	Exequível?	NBR
Assegurar acompanhamento do Dep.º Engenharia Industrial na Realização das Análises	2	2	4	Talvez	Não
Criação de Sistema de atribuição de Prémios	3	1	3	Sim	Talvez

Consoante o resultado do grau de exequibilidade (D x E) das injeções é possível caracterizar as que se encontram na zona verde como as prioritárias em termos de implementação no Sistema. Isto acontece porque essas injeções são consideradas como as mais fáceis de executar, mas também as que terão um resultado mais eficaz. As restantes, inseridas na zona amarela, também serão implementadas e introduzidas no Sistema.

Uma vez efetuada a análise, avaliação e priorização das injeções, outro ponto de reflexão foi a possibilidade das injeções propostas produzirem efeitos colaterais indesejáveis para além dos efeitos desejáveis óbvios. Para prevenir o aparecimento de outros problemas no Sistema - resultantes da implementação de uma solução - foi analisada cada injeção e questionado: “*Para além de obter o efeito desejado x, o que mais pode resultar desta injeção que possa ser prejudicial para o Sistema?*”. O resultado, para cada injeção, está apresentado nas Tabelas 5.8 e 5.9 acima. Juntamente com o Coordenador do departamento, foi concluído que duas injeções podem causar instabilidade na realidade futura do Sistema são as injeções: I128c e IA2, portanto para prevenir que estas produzam novos problemas, é necessário aplicar a ferramenta Reservas de Ramos Negativos - *Negative Branch Reservations* (NBR).

## 5.4. Reservas de Ramos Negativos (NBR)

O NBR é um diagrama constituído por ligações causa-efeito que nascem numa injeção e cujo destino é um UDE. Através desta ferramenta, é possível perceber em que ponto é que surgiu o problema que vai afetar o objetivo do Sistema. Para eliminar o ramo negativo é necessário desenvolver novas injeções para quebrar o ponto em que surgiu a primeira consequência negativa.

Neste Caso de Estudo, foram desenvolvidos dois diagramas NBR, cada um é respetivo a uma das duas injeções - I128c e IA2 - identificadas como propícias à produção de efeitos colaterais.

### 5.4.1. NBR para a Injeção 128c

Na Figura 5.13, estão representados dois caminhos - o caminho de efeitos negativos e o caminho de efeitos positivos - produzidos pela injeção “Supervisores acompanham os Técnicos nas Resoluções das Avarias”. É possível observar que o caminho de efeitos negativos tem como destino o UDE 1.2 - Manutenção Ineficiente -, comprometendo a eficácia da injeção proposta. Por outro lado, o caminho dos efeitos positivos que leva à concretização do DE 1.2 - Manutenção Eficaz e Eficiente.

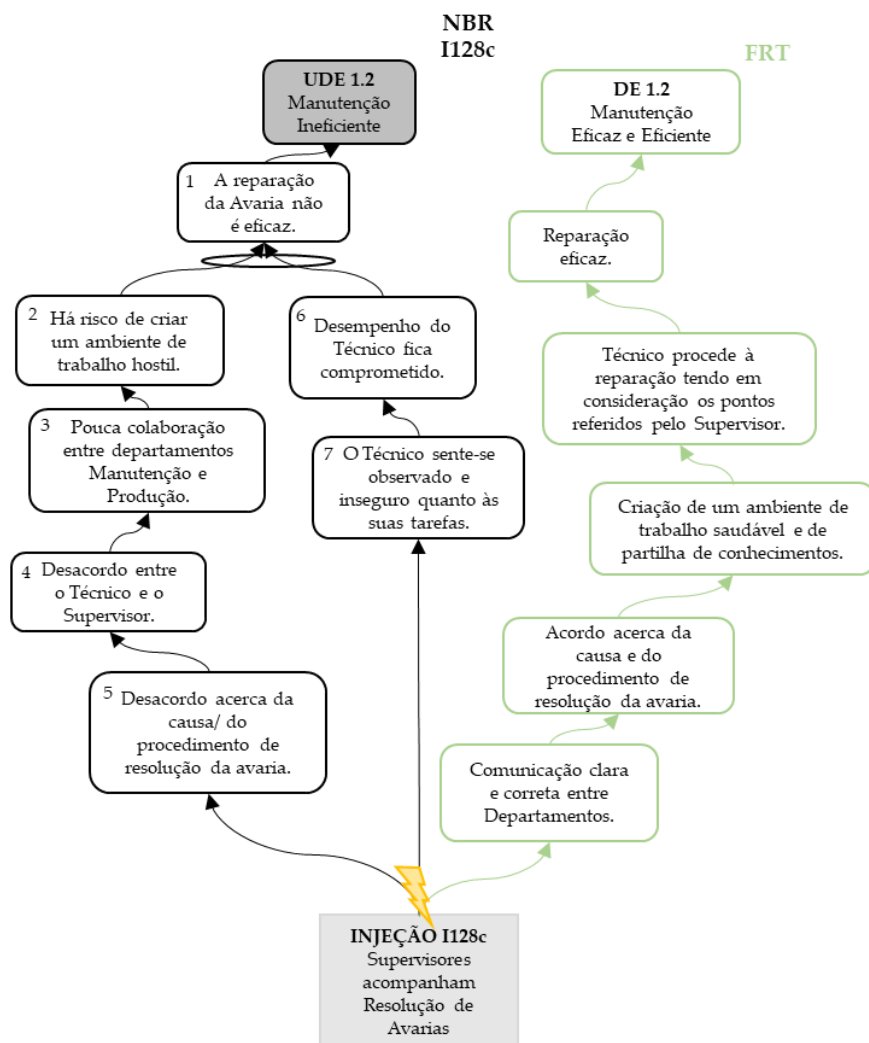


Figura 5.13 Efeitos negativos e positivos da Injeção I128c

Para a prevenir que o caminho dos efeitos negativos, gerado pela injeção, seja seguido é necessário desenvolver injeções para “atacar” o ponto em que as ligações começam a gerar causas intermédias negativas – identificado com um relâmpago. Na Figura 5.14 está explícito e esquematizado como a adição de novas injeções que, posicionadas no devido local, irão eliminar o caminho de efeitos negativos e, conseqüentemente o UDE 1.2. A injeção I128c foi subdividida em três, acrescentando duas injeções: NB1 e NB2. A injeção NB1 vai atuar na entidade 6 e a NB2 na entidade 8. Assim, as entidades 6 e 8 são eliminadas, invalidando os restantes efeitos negativos que se situam em níveis mais altos em relação a estas, culminando na eliminação do UDE. Garantindo, assim, que será seguido o caminho até ao efeito desejável - identificado a verde na Figura 5.13.

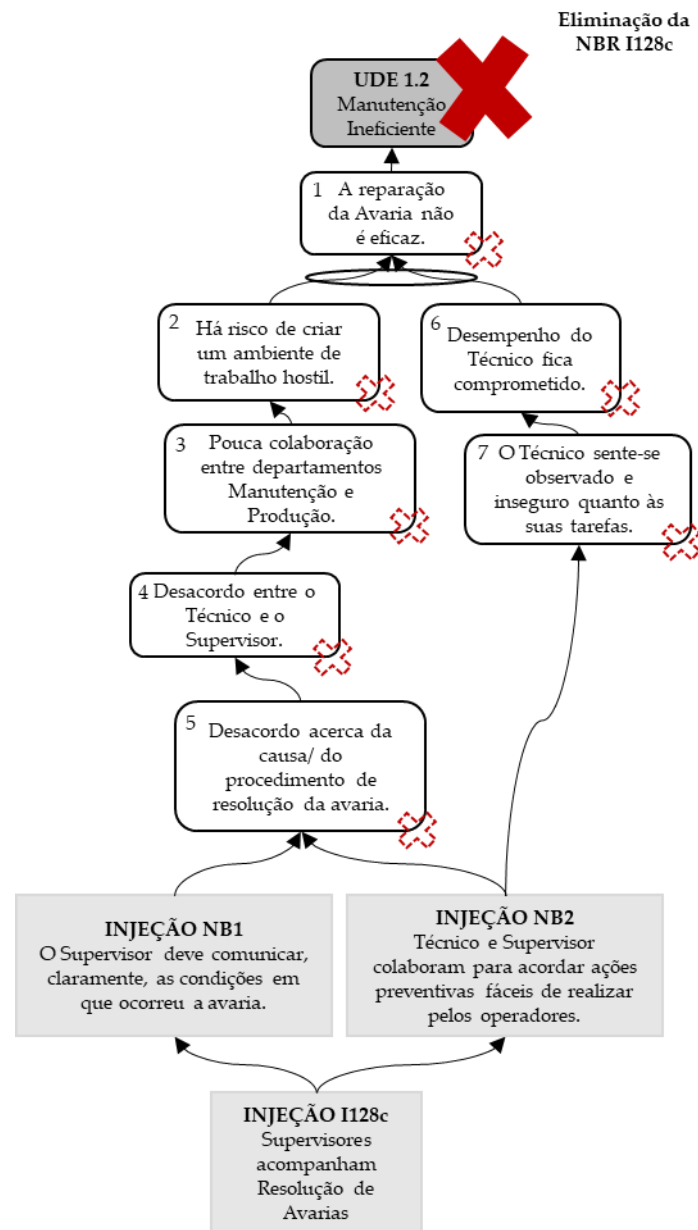


Figura 5.14 Eliminação dos efeitos negativos produzidos pela Injeção I128c

### 5.4.2. NBR para a Injeção IA2

Para o desenvolvimento da NBR para a injeção IA2 foi seguido o mesmo procedimento que o apresentado acima para o NBR correspondente à injeção I128c. No Anexo E (Figura E.1) é apresentado o percurso detalhado, tanto dos efeitos negativos, como dos positivos em relação à injeção IA2. Para prevenir que o percurso negativo produzido pela injeção IA2 aconteça, foram geradas três injeções distintas também provenientes da repartição da injeção: NB3, NB4 que irão “atacar” as entidades 7 e 8, respetivamente, como é possível observar na Figura abaixo. Com a eliminação destas entidades, todas as causas intermédias serão invalidadas e eliminadas, impedindo a produção do UDE 1.6.

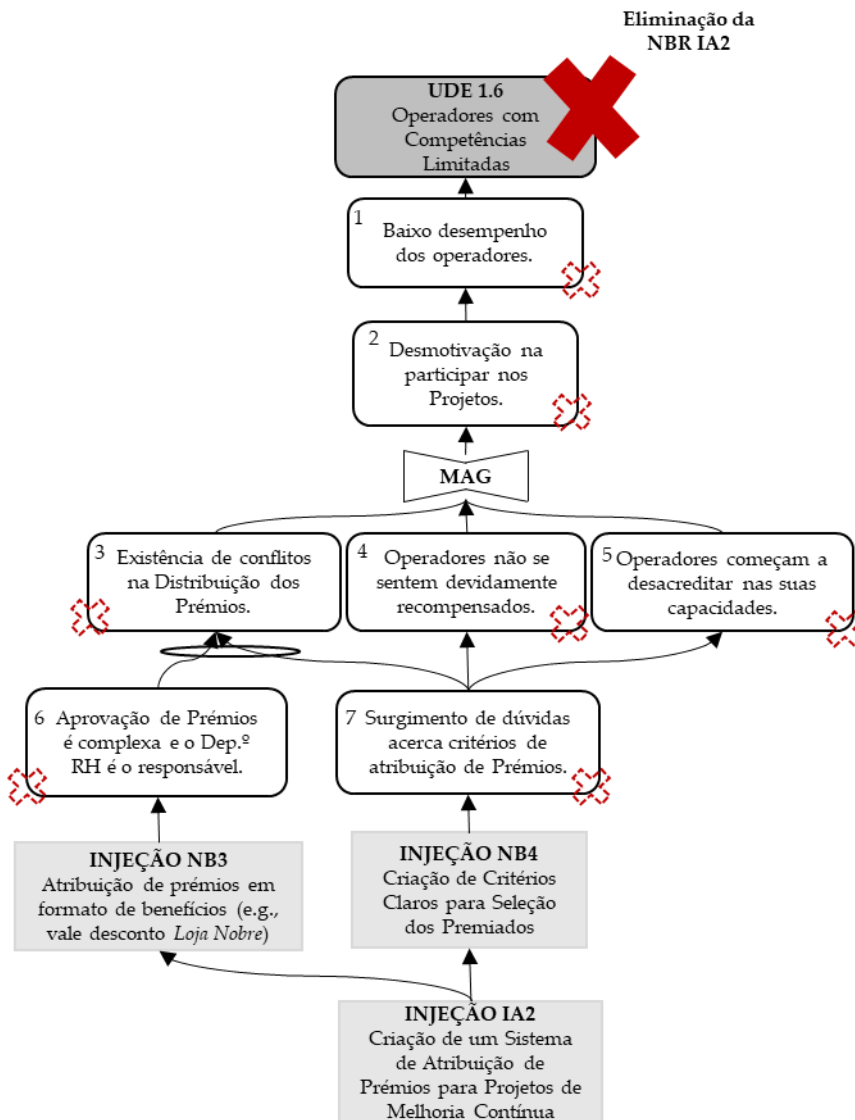


Figura 5.15 Eliminação dos efeitos negativos produzidos pela Injeção IA2

A construção de diagramas NBR, para as injeções I128c e IA2, expôs os caminhos de causas intermédias até aos UDE, respetivos de cada injeção, e permitiu eliminar os mesmo através da criação de novas injeções. Após o desenvolvimento das NBR é possível construir uma FRT estável, onde serão introduzidas todas as injeções inicialmente propostas (Tabelas 5.19 e 5.20) e as quatro novas injeções geradas a partir das NBR (Tabela 5.24).

Tabela 5.10 Injeções para Eliminar os NBR identificados

Nº Injeção	Descrição
NB1	O Supervisor deve comunicar, claramente, as condições em que ocorreu a avaria.
NB2	Técnico e Supervisor colaboram para acordar ações preventivas fáceis de realizar pelos operadores.
NB3	Atribuição de prémios em formato de benefícios (e.g., vale desconto <i>Loja Nobre</i> )
NB4	Criação de Critérios Claros para Seleção dos Premiados

## 5.5. Árvore da Realidade Futura (FRT)

A FRT é o diagrama que permite prever como é que as injeções propostas vão produzir efeitos desejáveis. A FRT representa visualmente as mudanças que têm de ser efetuadas para que o objetivo - *Melhorar o OEE* - seja atingido. Para o desenvolvimento da FRT os efeitos indesejáveis (UDE) da CRT foram transformados em efeitos desejáveis (DE), vide Tabela 5.11.

Tabela 5.11 Transformação dos UDE em DEs

Efeitos Indesejáveis (UDE)	Efeitos Desejáveis (DE)
1.1 Paragens Não-Planeadas	1.1 Redução da Ocorrência de Paragens Não-Planeadas
1.2 Manutenção Ineficiente	1.2 Manutenção Eficaz e Eficiente
1.3 Tempos de Paragens Planeadas Demoradas	1.3 Tempos de Paragens Planeadas Otimizados
1.4 <i>Design</i> Limitador do Equipamento	1.4 Equipamento Adaptado
1.5 Monotorização Ineficiente de Processos	1.5 Monotorização/Supervisão Eficiente de Processos
1.6 Operadores com Competências Limitadas	1.6 Operadores com Todas as Competências Necessárias
2.1 Existência de Micro-Paragens	2.1 Baixa Frequência de Micro-Paragens
2.2 Redução da Velocidade de Produção	2.2 Aumento/Otimização da Velocidade de Produção
3.1 Necessidade Frequente de <i>Rework</i>	3.1 Pouca Necessidade de <i>Rework</i>
3.2 Embalagens Processadas em Vazio	3.2 Aumento do Nº de Embalagens Conformes Processadas
3.3 Baixa Qualidade do Produto Intermédio ( <i>Logs</i> )	3.3 [Boa] Qualidade do Produto Intermédio ( <i>Logs</i> )

A FRT nasce nas injeções propostas que vão desenvolver cadeias de causas intermédias cujo destino é um ou mais DE. Estas cadeias são construídas a partir do pensamento de causa suficiente: "*Se x for realizado, então y vai acontecer*". Uma vez alcançados os efeitos desejáveis definidos, é possível, então, atingir as CN, os FCS e, finalmente, o objetivo do Sistema - todos eles definidos na GT, vide Figura E.2 (Anexo E).

A FRT incorpora as principais injeções propostas, para neutralização do *core problem* e causas-raiz críticas selecionadas, e transforma os UDE em DE. Na Figura 5.16, está apresentada uma versão simplificada da FRT, sem as causas intermédias, que possibilita uma compreensão mais clara acerca do diagrama, onde é possível observar as ligações entre as injeções e os DE, e como o conjunto destas interações permite que o Sistema se encontre mais próximo de alcançar o seu objetivo.

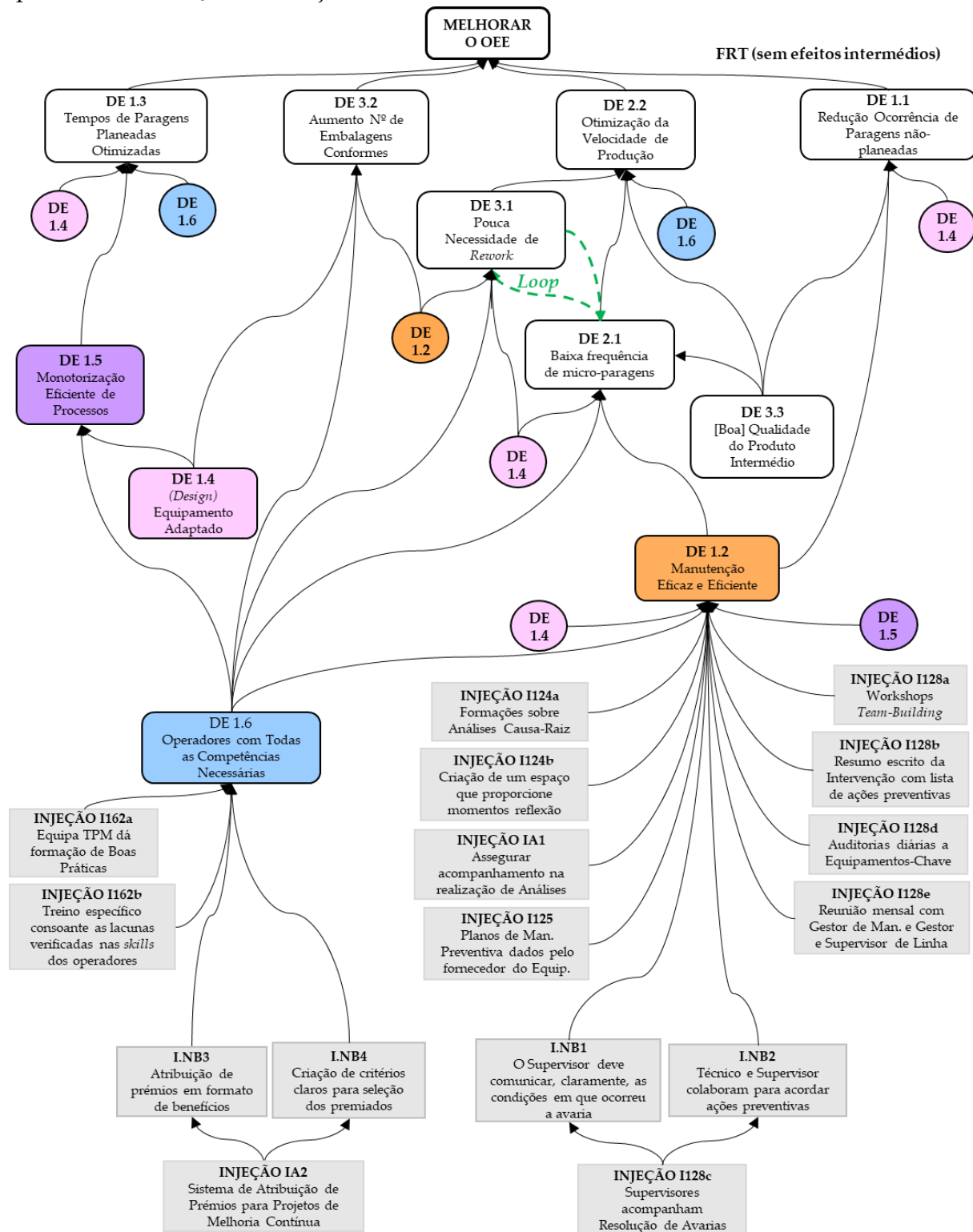


Figura 5.16 FRT simplificada com as injeções para a eliminação das "principais" CRC

Para além da FRT simplificada representada na Figura 5.16, foi construída uma FRT completa que também apresenta injeções *extra - listadas* no Anexo E - que poderão ser implementadas de forma a alcançar **todos** os DEs definidos (Tabela 5.11). As injeções *extra* introduzidas na versão final da FRT, de seguida apresentada, resultam da análise das restantes CRC identificadas na CRT que, por vezes, torna mais fácil a identificação de ações e condições para as eliminar.

A FRT completa (Figuras 5.17, 5.18, 5.19) está dividida em três partes para facilitar a visualização das entidades e relações nela definidas. A árvore apresenta uma estrutura semelhante à CRT, visto que é desenvolvida com base na mesma lógica causa-efeito, mas identifica todos os DE e as respetivas causas intermédias necessárias para atingir o objetivo principal. Para garantir uma compreensão geral da FRT, alguns aspetos a ter em conta são:

- Como na CRT, é utilizado um “código de cores” para facilitar a identificação das diferentes entidades e compreensão relações causa-efeito apresentadas:
  - i. As principais injeções necessárias para a mudança mais significativa do Sistema são representadas por uma forma retangular e cinzenta;
  - ii. As injeções *extra* são representadas por formas retangulares preenchidas a amarelo;
  - iii. Todos os DEs são identificados pelo contorno verde;
  - iv. A azul-claro e tracejado encontram-se as entidades classificadas como “Realidade Existente” porque são fatores que não podem ser controlados, no entanto continuam a estar presentes na realidade futura do Sistema;
- O *loop* que na CRT era um reforço negativo, agora, na FRT é um *loop* de reforço positivo. Este *loop* pode “acelerar” o aparecimento dos DEs 2.1 e 3.1: “*Se há baixa frequência de micro-paragens, então há pouca necessidade de rework. Se há pouca necessidade de rework, então há baixa frequência de micro-paragens*”;
- Exemplificação da leitura de um ramo da FRT: “*Se for ministrado o treino específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos operadores juntamente com instrução de boas práticas [e um Sistema de atribuição de prémios] então os operadores terão todas as competências necessárias (DE 1.6). Se os operadores têm as competências necessárias, então o posicionamento das porções na embalagem é o correto [e a data de validade e identificação do produto é legível, as embalagens apresentam valores corretos de O2 e CO2, as embalagens têm a quantidade correta de vácuo e os rótulos aplicados corretamente] então há pouca necessidade de rework (DE 3.1)*”.
- É possível observar mais elipses na FRT que na CRT. Isto acontece porque muitas das injeções (ações/condições) só terão o efeito desejado quando produzidas em simultâneo, i.e., as injeções complementam-se e produzirão um efeito [desejado] significativo.



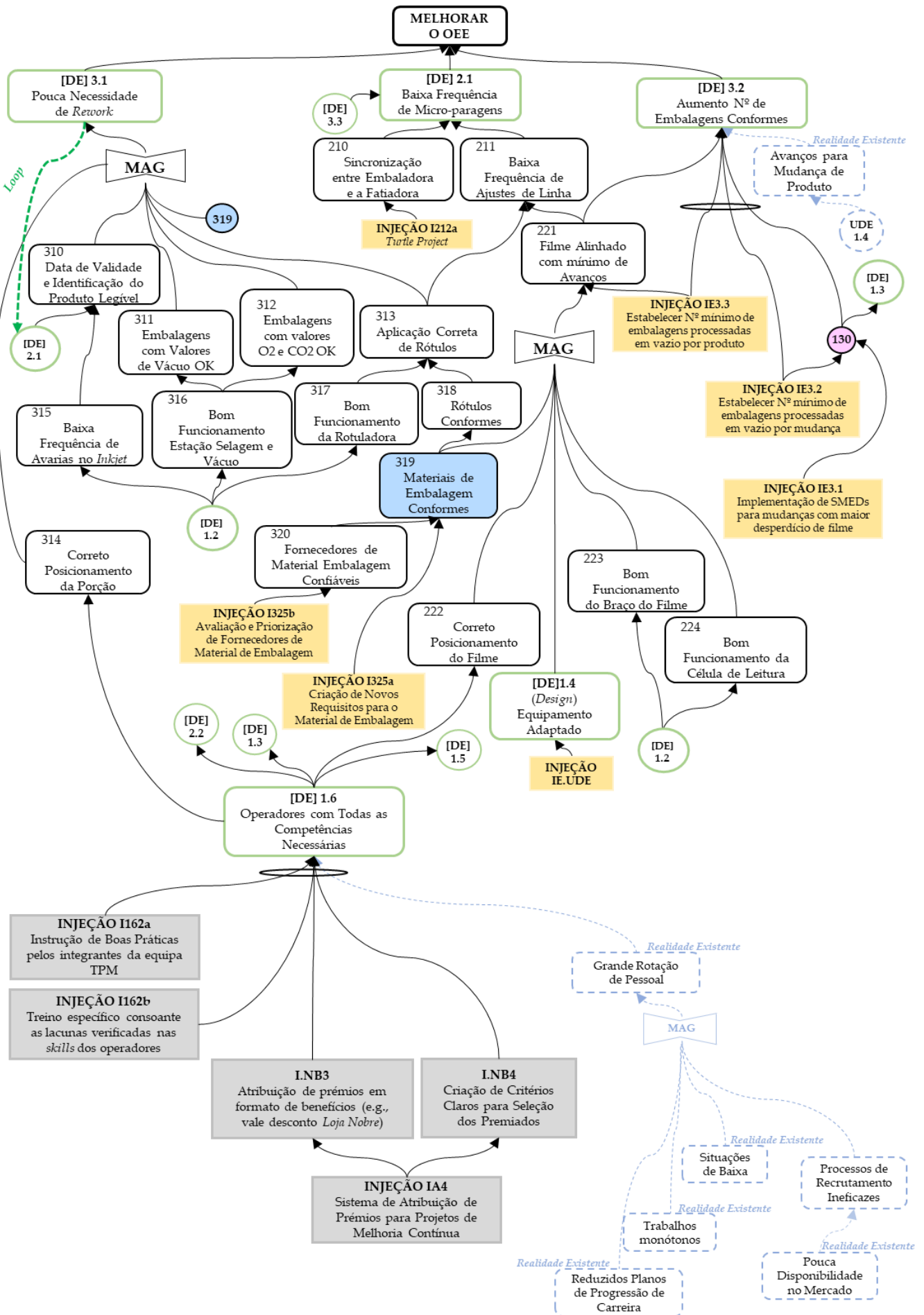


Figura 5.18 Árvore da Realidade Futura (2)

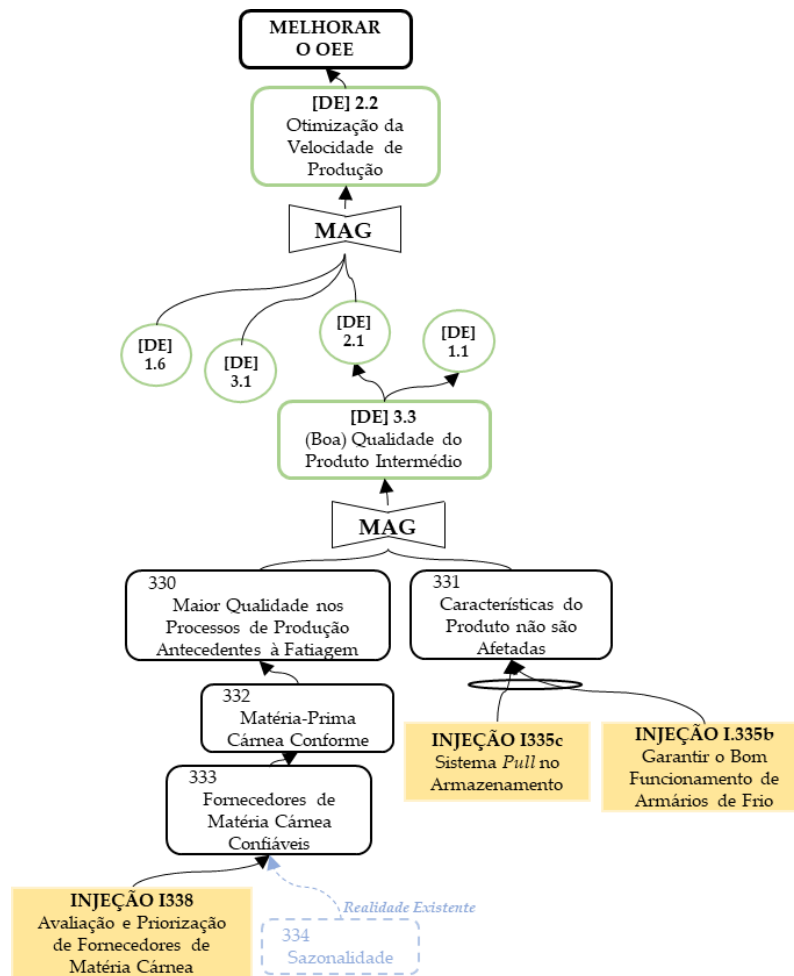


Figura 5.19 Árvore da Realidade Futura (3)

Analisando e interpretando a FRT é explícito que, caso os passos descritos sejam seguidos e as injeções propostas implementadas, será possível alcançar a *Melhoria do OEE* da Linha 5. Com o desenvolvimento da FRT e, anteriormente, do CRD e da NBR é possível responder à questão “*Mudar para o quê?*”.

Para que o Sistema inicie a mudança rumo ao objetivo estabelecido, os esforços devem estar direcionados, primeiramente, para a eliminação da causa-raiz crítica 162 – Investimento Limitado na Formação dos Operadores – e consequente neutralização do *core problem*, mas também na resolução das CRCs associadas ao UDE 1.2 - Manutenção Ineficiente, de forma a conseguirem obter resultados significativos na *Melhoria do OEE*. Numa visão a longo prazo, a implementação bem-sucedida das restantes injeções *extra* iria resultar no alcance de **todos** os DEs e, consequentemente CN e FCS e, por fim, o **objetivo**.

O próximo passo consiste na elaboração de um plano de ação para a implementação de cada uma das injeções propostas através do desenvolvimento dos diagramas: Árvore de Pré-requisitos e Árvore de Transição para responder à questão: “*Como causar a mudança?*”.

## 5.6. Árvore de Pré-requisitos (PRT)

Neste Caso de Estudo, a Árvore de Pré-requisitos (PRT) e a Árvore de Transição (TT) que são fundidas numa só, obtendo uma PRT mais detalhada. Esta abordagem é apresentada por Dettmer (subcapítulo 2.2.1.6). Geralmente, a PRT é utilizada para injeções cuja implementação é considerada complexa pois envolve uma série de atividades interdependentes entre si. Por outro lado, outra razão que pode levar à construção da PRT é o facto da organização não saber agilizar o alcance do objetivo devido à existência de obstáculos. Idealmente, o diagrama PRT deveria ser desenvolvido para cada uma das injeções propostas (Tabelas 5.6 e 5.7) de modo a planear a sua implementação no Sistema – determinando todas as medidas necessárias para operacionalizar a implementação e analisando todos os possíveis obstáculos à mesma. Neste Caso de Estudo será apenas exemplificado um diagrama PRT – versão robusta (PRT + TT) para uma injeção da FRT.

O critério de seleção para a injeção integrante da PRT foi definido com base no valor do índice de Dificuldade, (D), previamente calculado para avaliar e priorizar injeções (Tabelas 4.8 e 4.9) mas também na relação existente entre a injeção e os DEs do Sistema futuro. Com base no critério definido a injeção **I162b** – “Treino específico consoante as lacunas verificadas nas *skills* dos operadores” – foi selecionada pois apresenta um Índice de Dificuldade complicado, D=3 está diretamente ligada ao DE 1.6 - Operadores com Todas as Competências Necessárias - que irá desencadear o aparecimento cerca de 70% dos restantes DEs no Sistema. A implementação da injeção I162b permitirá:

- O aumento da satisfação dos operadores e segurança no trabalho dos mesmos. Resultando no menor absentismo e rotatividade de pessoal;
- Uma supervisão de processos mais eficaz porque começará a ser realizada pelos próprios operadores;
- A melhoria e aperfeiçoamento das habilidades (qualificações);
- O aumento da produtividade pois os operadores demonstrarão um bom desempenho e trabalho de qualidade.

Todos estes fatores irão contribuir para o alcance de DEs identificados na FRT, permitindo alcançar o objetivo – *Melhorar o OEE* – da Linha 5, mais rapidamente.

Com a injeção selecionada, foi possível definir o objetivo da PRT e TT como: “*Ministrar treino específico aos operadores consoante as lacunas verificadas*”. De seguida, é preciso determinar todas as atividades, denominadas de objetivos intermédios (IO), que são necessárias de modo a alcançar o objetivo definido. Para o exemplo em consideração, os IOs identificados estão listados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 Objetivos intermédios (IO) definidos para a PRT

<b>Objetivos Intermédios (IO)</b>	<b>Descrição</b>
IO1	Identificação das principais causas (erro humano) que têm impacto significativo no OEE.
IO2	Visita ao Gemba
IO3	Priorização as principais causas identificadas.
IO4	Definição de standards.
IO4a	Elaboração de OPLs ou SOPs.
IO4b	Orientação e Supervisão na Elaboração das OPLs ou SOPs
IO4c	Análise e Verificação das OPLs ou SOPs
IO5	Definição do Método de Formação a Adotar
IO6	Calendarização da Formação.
IO6a	Determinação do N <sup>o</sup> horas necessárias para as Ações de Formação
IO6b	Definição dos horários de Formação

Após a definição dos IOs é necessário determinar os possíveis obstáculos à implementação da injeção. É importante destacar que nem todos os IOs terão associado um obstáculo, pois são consideradas de simples operacionalização, por isso não há necessidade de inventar obstáculos. Analisando os objetivos intermédios foi possível determinar obstáculos que podem impedir a realização dos mesmos, vide Tabela 5.13.

Tabela 5.13 Indicação dos obstáculos (O) da PRT

<b>Objetivo Intermédio</b>	<b>Obstáculo</b>	<b>Descrição do Obstáculo</b>
IO1	N/A	
IO2	O1	Desconhecido o critério de Priorização
IO3	N/A	
IO4	N/A	
IO4a	N/A	
IO4b	N/A	
IO4c	N/A	
IO5	N/A	
IO6	N/A	
IO6a	N/A	
IO6b	O2	Elevada carga de trabalho, provocando a falta de tempo para a implementação de mudanças

Com os IOs e os obstáculos todos identificados, foi possível construir uma versão inicial da PRT, representada na Figura E.3 (Anexo E). O diagrama foi construído consoante a lógica de necessidade, significando isto que a PRT está organizada consoante a necessidade de conclusão dos objetivos intermédios, i.e., IO que são realizados mais tarde estão posicionados mais próximos do objetivo.

Para ultrapassar os obstáculos presentes na PRT é necessário desenvolver ações - novos IOs - que permitam eliminar/contornar o obstáculo. Neste caso, é necessário ultrapassar dois obstáculos, para os quais foram desenvolvidas ações que estão expostas na Tabela 5.14. Estas ações deverão ser posicionadas antes do IO obstruído pelo obstáculo, para que seja possível superá-lo.

Tabela 5.14 Identificação das ações para neutralizar os obstáculos da PRT

Obstáculo	Descrição	Ação (IO)
O1	Desconhecido o critério de Priorização.	Utilizar a Matriz Esforço-Benefício.
O2	Elevada carga de trabalho, provocando a falta de tempo para a implementação de mudanças.	Garantir o contacto constante com o Dep.º Planeamento da Produção para identificar horários para a realização das ações de Formação.

Na Figura 5.20 estão representadas todas as etapas - atividades/tarefas - que são necessárias concluir de forma atingir o objetivo definido através da injeção **I162b** - Ministrando treino específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos operadores. As duas ações introduzidas - novos objetivos intermédios - estão preenchidas a azul.

Neste Caso de Estudo, a PRT construída é considerada referência para a criação do plano de ação para a implementação da injeção selecionada - (I162b) "Treino específico consoante as lacunas verificadas nas *skills* dos operadores" - e, desta forma, acionar a mudança do Sistema.

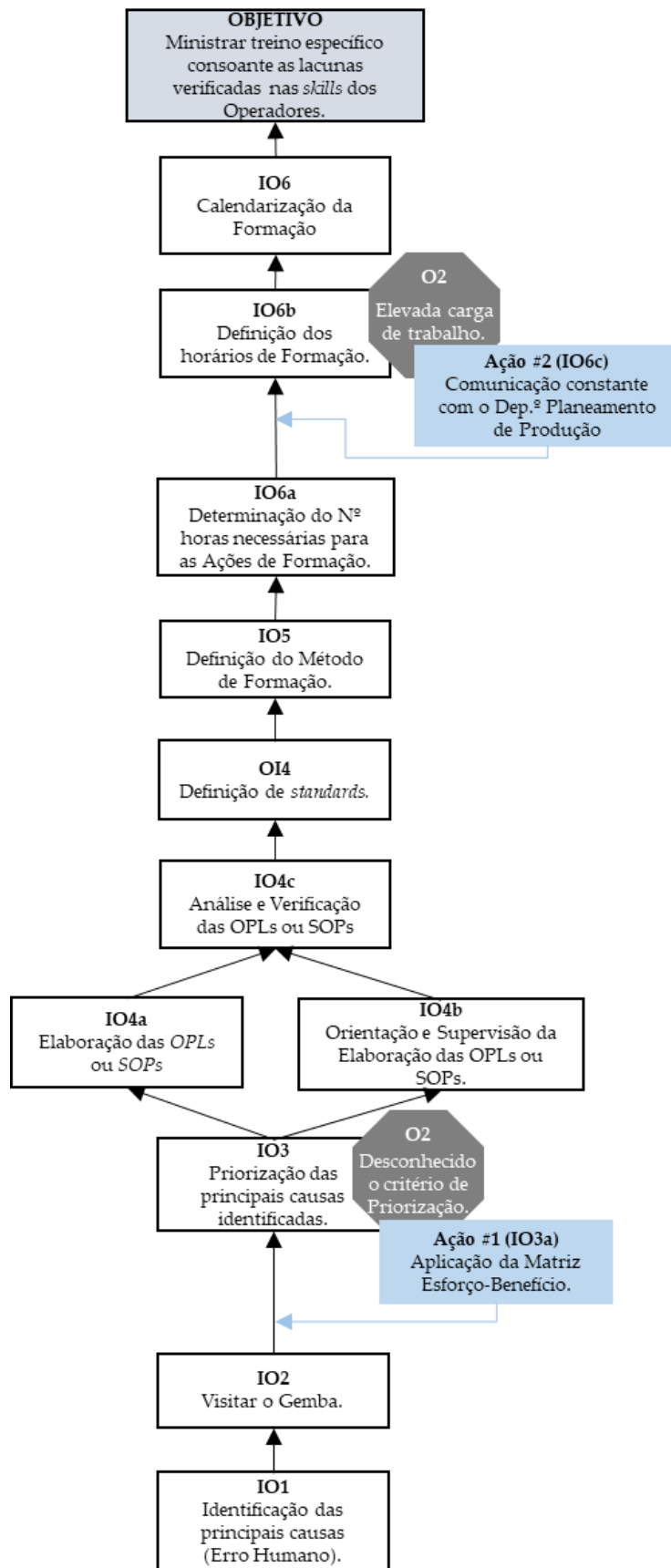


Figura 5.20 PRT final

## 5.7. Árvore de Estratégia & Tática (STT)

Como referido no capítulo 2.2.1.7, a Árvore de Estratégia & Tática ilustra a relação entre a estratégia de mais alto nível - o principal objetivo da organização - e as ações necessárias para a sua operacionalização. A STT pode ser utilizada para atingir qualquer estratégia de qualquer Sistema. Como tal, neste Caso de Estudo, a STT é aplicada de forma a representar a união e sincronização das iniciativas de mudança propostas ao longo do Estudo para o alcance da estratégia (S) de Nível 1: “Melhoria do OEE” - o objetivo principal da Linha 5 da área dos Fatiados da Empresa Nobre Alimentação Lda.

Idealmente, a STT deve incluir todas as injeções propostas para reproduzir os resultados ilustrados pela FRT, respondendo à questão “Como medir e sustentar a mudança e alcançar o POOGI?”. Contudo, as injeções não foram implementadas durante o tempo útil de desenvolvimento da Dissertação e a resposta à última questão do POOGI fica em aberto. No Caso de Estudo, foi apenas incluída uma injeção na STT para demonstrar, detalhadamente, a aplicabilidade da ferramenta e apresentar um plano pormenorizado à Empresa para “acionar” o efeito desejável - *Operadores com Todas as Competências Necessárias* (DE 1.6) - cujo impacto é significativo no alcance da estratégia de mais alto nível do Sistema em análise (Linha5). A STT desenvolvida pode ser observada na Figura 5.21. O Nível 1 (L1) é referente ao principal objetivo do Caso de Estudo e diz respeito às entidades participativas do Sistema - zona de controlo e esfera de influência definidos (subcapítulo 5.1). O Nível 2 (L2) consiste num nível de ação intermédio e que deve ser garantido pela colaboração e cooperação entre diferentes entidades participativas da gestão intermédia e da gestão operacional (e.g., Departamentos de Manutenção, Operações, TPM e Engenharia Industrial). O Nível 3 (L3), apenas incluído para algumas etapas S&T específicas do nível anterior, fornece informação mais detalhada das ações a implementar que são executadas pelas entidades do nível imediatamente superior (L2).

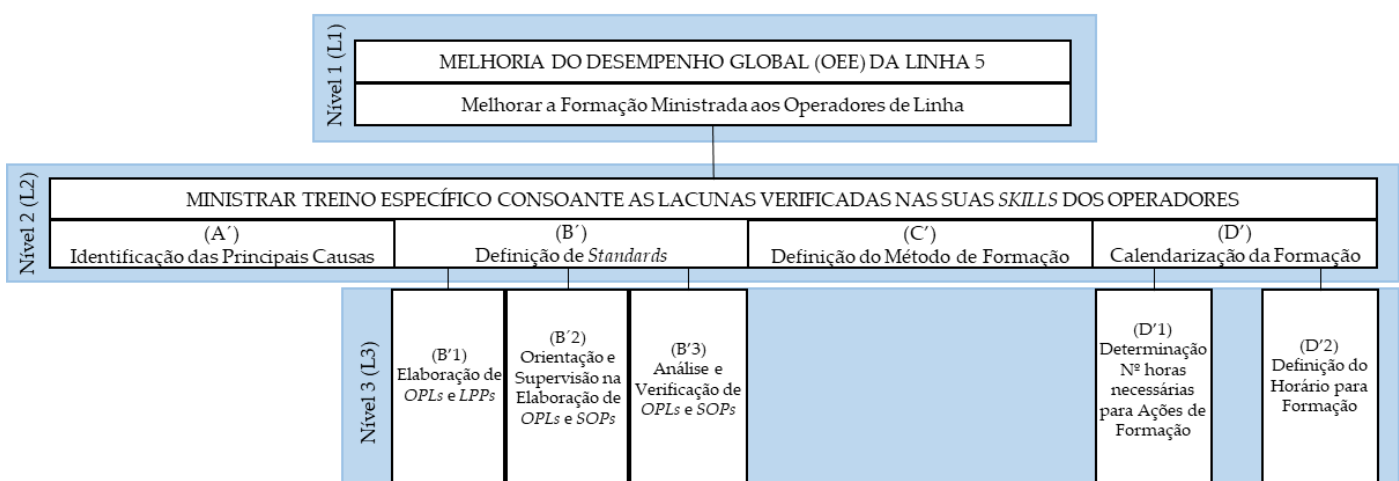


Figura 5.21 STT aplicada à Melhoria do OEE da Linha 5

A construção de cada nível da STT é descrita de forma detalhada para a melhor compreensão da definição da Estratégia (S) e Tática (T) de cada etapa S&T presente na árvore lógica, bem como os pressupostos em que se baseiam.

Na Tabela 5.15 é descrita e justificada a existência da relação e lógica por detrás do Nível 1 da STT. Para a primeira etapa S&T, a estratégia (S) foi definida como o objetivo de mais alto nível “Melhoria do Desempenho Global de Equipamentos (OEE)” e a tática (T) correspondente como “Melhorar a Formação concedida aos Operadores de Linha”. Por sua vez, o pressuposto que justifica a existência da relação entre a S e T definidas é o pressuposto paralelo (PA). O PA é a resposta à seguinte questão: “Porque é que a T é a melhor opção para atingir o objetivo (S)?”. Assim, a conexão entre a S e T pode ser lida da seguinte maneira: “Se a estratégia é a Melhoria do OEE (S) e os operadores com devida formação sentem-se mais capazes (melhores habilidades e conhecimentos) e seguros na sua função e demonstrarão melhores resultados de desempenho e maior interesse pela conquista dos objetivos da Empresa (PA), então a tática resultante é melhorar a formação ministrada aos operadores de linha (T)”.

Para continuar a validar as relações entre estratégias e táticas dos diferentes níveis é necessário recorrer ao pressuposto de suficiência (SA) que justifica a necessidade de existir ações num nível posterior verificar se estas são suficientes para alcançar o nível imediatamente superior.

Tabela 5.15 Nível 1 da STT

<b>1</b>	<b>Melhoria do Desempenho Global (OEE)</b>
<b>Pressuposto de Necessidade</b> (Porquê o objetivo de nível anterior?)	A Melhoria do Desempenho Global (OEE) da Linha está em sincronia com o objetivo do Departamento de Produção, logo com o objetivo da Nobre Alimentação Lda.
<b>Estratégia</b> (Objetivo - "Para quê?")	Melhoria do Desempenho Global (OEE)
<b>Pressuposto Paralelo</b> (Qual é a ação que satisfaz a Estratégia?)	Operadores que recebam a devida Formação sentem-se mais capazes (melhores habilidades e conhecimentos) e seguros na sua função e demonstrarão melhores resultados de desempenho e maior interesse pela conquista dos objetivos da Empresa. Sem operadores com competências, é substancialmente mais difícil alcançar um bom desempenho da Linha.
<b>Tática</b> (Como é que a Estratégia é alcançada?)	Melhorar a Formação ministrada aos Operadores de Linha
<b>Pressuposto de Suficiência</b> (Porquê as ações de nível posterior?)	As ações posteriores são descritas com maior detalhe pois são da responsabilidade de diferentes entidades (competências). A colaboração entre Departamentos é de extrema importância para a implementação da mudança proposta.

O Nível 2 da STT (Tabela 5.16) consta com a estratégia (S) “Ministrar treino específico consoante as lacunas verificadas nas *skills* dos operadores” (correspondente à injeção I162b) . O pressuposto de necessidade (NA) justifica a relação entre esta Estratégia e a que foi definida no Nível 1. O pressuposto defende que: “A focalização da formação no treino e (re)educação dos operadores irá promover a melhoria das habilidades e conhecimentos dos mesmos. Assim, os operadores são mais eficazes e eficientes nas suas funções” significando isto que dedicando o tempo necessário

a uma Formação de qualidade, pertinente e eficaz vai contribuir em melhorias nos desempenhos individual de cada operador, em equipa e, conseqüentemente, no OEE da Linha.

A S definida é desdobrada em quatro táticas (T) que refletem as ações necessárias a realizar para a alcançar. A relação entre S e as diversas Ts é justificada através do seguinte pressuposto: "Se S é ministrar o treino específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos operadores e para alcançar este objetivo pressupõe que se determinem as principais falhas para, posteriormente, se realizar a preparação do conteúdo (*standards*) para conduzir a formação (PA) então as táticas (T) resultantes são: A': Identificação e priorização das principais causas (erro humano) que afetam o valor do OEE; B': Definição de Standards; C': Definição do Método de Formação e D': Calendarização da Formação." Com a operacionalização das táticas definidas será possível atingir a estratégia L2. Como descrito no Pressuposto de Suficiência (SA), as ações do nível posterior foram definidas com muito detalhe para facilitar a realização das respetivas táticas identificadas e, mais tarde, a implementação da iniciativa de mudança proposta.

Tabela 5.16 Nível 2 da STT

<b>2.1</b>	<b>Ministrar Treino Específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos Operadores</b>
<b>Pressuposto de Necessidade</b> (Porquê o objetivo de nível anterior?)	A focalização da Formação no treino e (re)educação dos operadores irá promover a melhoria das habilidades e conhecimentos dos mesmos. Assim, os operadores são mais eficazes e eficientes nas suas funções.
<b>Estratégia</b> (Objetivo - "Para quê?")	Ministrar treino específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos operadores
<b>Pressuposto Paralelo</b> (Qual é a ação que satisfaz a Estratégia?)	Ministrar o treino específico aos operadores de Linha pressupõe se determinem as principais falhas para, posteriormente, prepararem o conteúdo específico ( <i>standards</i> ) da Formação.
<b>Tática</b> (Como é que a Estratégia é alcançada?)	A': Identificação e priorização das principais causas (erro humano) que afetam o valor do OEE B': Definição de Standards C': Definição do Método de Formação D': Calendarização da Formação
<b>Pressuposto de Suficiência</b> (Porquê as ações de nível posterior?)	As ações posteriores são descritas com maior detalhe para facilitar a compreensão e realização da implementação da mudança.

Para a implementação da iniciativa de mudança proposta (S do L2), foi discutido juntamente com os Departamentos de Engenharia Industrial e TPM quais as ações elementares (táticas) necessárias para conseguir atingir o objetivo - *Ministrar treino específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos operadores*. As ações foram definidas consoante a necessidade de diferentes recursos (e.g., Departamentos) para as completar - com o auxílio da matriz de responsabilidades (Figura E.4, Anexo E) definiu-se, claramente, todas as atividades e as entidades responsáveis pelas mesmas. A ferramenta também permitiu identificar atividades sequenciais cuja entidade responsável pela execução é a mesma agrupando-as numa só macro-atividade, de forma a simplificar a sua representação na STT.

Observando a Figura 5.21 e Tabela 5.17, a tática “Definição de standards (B’)” é subdividida em três para simplificar a mesma e facilitar a sua concretização. Como a atividade B’ requer a sincronização de diferentes recursos (com competências distintas), resultaram três táticas distintas, cada uma correspondente a um recurso.

Semelhante à tática B’, para a concretização da tática “Calendarização da Formação (D’)” é necessário desenvolver um nível posterior para identificar as ações elementares necessárias que são da responsabilidade de diferentes entidades e que precisam de ser coordenadas entre si. A Tabela 5.18 sintetiza o raciocínio para o desenvolvimento do ramo 3.1.2 da STT.

Tabela 5.17 Subnível 3.1.1 da STT

3.1.1	Definição de <i>Standards</i>
<b>Pressuposto de Necessidade</b> (Porquê o objetivo de nível anterior?)	Para ministrar uma Formação com qualidade é necessário prepará-la com a devida documentação, neste caso os documentos são <i>OPLs</i> ou <i>SOPs</i> .
<b>Estratégia</b> (Objetivo - "Para quê?")	A definição de <i>standards</i> é importante para a eficácia da formação.
<b>Pressuposto Paralelo</b> (Qual é a ação que satisfaz a Estratégia?)	A definição de <i>standards</i> é considerado um processo que requer a participação de diferentes recursos (com diferentes competências).
<b>Tática</b> (Como é que a Estratégia é alcançada?)	B'1: Elaboração de <i>OPLs</i> ou <i>SOPs</i> B'2: Orientação e supervisão na elaboração das <i>OPLs</i> e <i>SOPs</i> B'3: Análise e verificação das <i>OPLs</i> e <i>SOPs</i>
<b>Pressuposto de Suficiência</b> (Porquê as ações de nível posterior?)	O conteúdo das ações de formação fica determinado.

Tabela 5.18 Subnível 3.1.2 da STT

3.1.2	Calendarização da Formação
<b>Pressuposto de Necessidade</b> (Porquê o objetivo de nível anterior?)	Para ministrar uma Formação com qualidade e transversal a todos os operadores é necessário agendar as ações de formação com a devida antecedência.
<b>Estratégia</b> (Objetivo - "Para quê?")	A formação precisa de ser operacionalizada em horas e horários.
<b>Pressuposto Paralelo</b> (Qual é a ação que satisfaz a Estratégia?)	Para a calendarização de Formações é preciso determinar o número de horas de Formação e garantir que não existe elevada carga de trabalho no Sistema e que os recursos (operadores e formadores) estejam disponíveis.
<b>Tática</b> (Como é que a Estratégia é alcançada?)	D'1: Determinar o N° horas necessárias para a Formação D'2: Definir o horário das Ações de formação
<b>Pressuposto de Suficiência</b> (Porquê as ações de nível posterior?)	A carga horária e a execução no tempo das ações de formação ficam determinadas.

A Árvore de Estratégia & Tática (Figura 5.21) representa a sincronização dos esforços dentro da Empresa para atingir o objetivo, definindo todas as medidas, processos e comportamentos necessários em cada nível e em cada função. Neste Caso de Estudo, a STT foi desenvolvida até ao detalhe das ações elementares do Nível 3, bem como a sequência da

implementação das mesmas para alcançar a estratégia de Nível 2 – Ministar treino específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos operadores.

Para guiar a Empresa na operacionalização da estratégia são apresentadas a calendarização para a implementação do projeto – ao qual foi dado o título de *Projeto de Formação* – e as diretrizes para a concretização de cada etapa do mesmo. Completando o Projeto, a iniciativa de mudança será “acionada” e produzirá efeitos desejáveis (DE) no Sistema aproximando-o do seu objetivo – *Melhorar o OEE*.

## 5.8. Planeamento das Ações de Melhoria: CCPM

A rede de atividades para a implementação do projeto mostra as dependências entre as táticas do nível mais baixo da STT. Neste Caso, existem etapas S&T que apenas incluem táticas de Nível 2 e outros incluem táticas de Nível 3. Assim, na rede de atividades serão incluídas táticas de ambos os níveis (L2 e L3). A calendarização do *Projeto de Formação* foi realizada com base na CCPM e para tal foram determinadas as durações alvo - que têm 50% de confiança (i.e., têm uma probabilidade de ocorrência e não ocorrência igual) -, as durações pessimistas para considerar a variabilidade associada à realização de atividades, foram estabelecidas as precedências (relações lógicas) entre as atividades e identificados os recursos a alocar a cada uma, vide Tabela 5.19.

Tabela 5.19 Precedências, durações das atividades e recursos do Projeto

#	Atividades	Precedências	Recurso (Departamento)	Duração Alvo	Duração "Pessimista"
A'	Identificação e Priorização das Principais Causas	-	Engenharia Industrial	4	6
B'1	Elaboração de Documentos (OPLs e LPPs)	A	TPM	20	60
B'2	Orientação e Supervisão na Elaboração dos Documentos	B'1	Manutenção	20	60
B'3	Verificação e análise dos Documentos	B'1; B'2	Produção	1	3
C'	Definição do Método de Formação	B'3	Produção	1	3
D'1	Determinação do N° horas necessárias para a Formação	C'	Produção	2	4
D'2	Definição do Horário de Formação	D'1	Planeamento da Produção	2	10

Na Figura 5.22 está representada a rede de atividades do projeto, cada caixa corresponde a uma atividade a realizar e é possível identificar as macro-atividades, A' e D'1 (previamente definidas com a matriz de responsabilidades – Figura E.4). É evidente que, para a execução do projeto, a maioria das atividades é realizada sequencialmente, ou seja, uma atividade só pode ser realizada após a precedente ter sido finalizada, exceto as atividades B'1 e B'2 que são executadas em simultâneo.

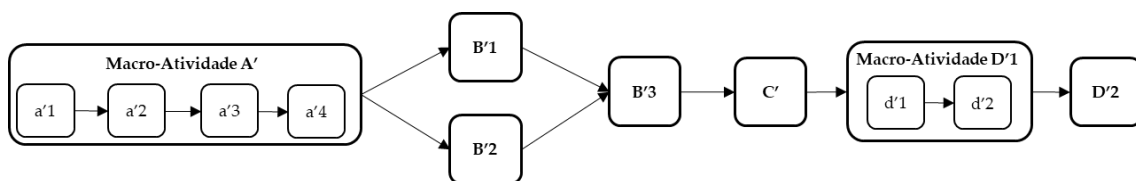


Figura 5.22 Rede de atividades do Projeto de Formação

Estabelecendo as relações lógicas entre as atividades e alocando os recursos às atividades, não houve necessidade de resolução de conflitos entre atividades pelos mesmos recursos. A calendarização do projeto foi feita em *ALAP* e recorreu-se ao *software* ProChain<sup>20</sup> para a identificar a cadeia crítica do projeto e a inserção das reservas de tempo dimensionadas com recurso ao método *Cut and Paste Method* (C&PM), método pré-definido pelo *software*.

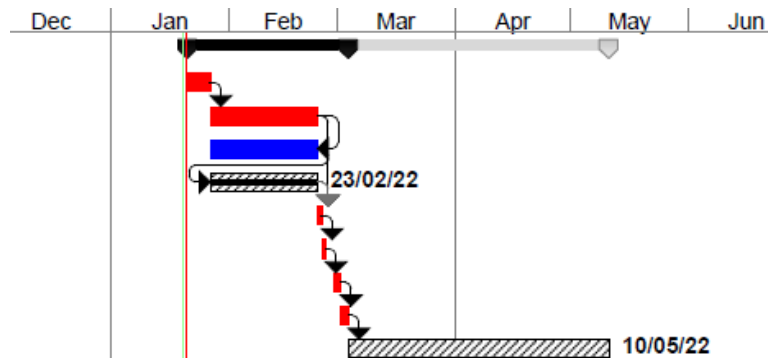


Figura 5.23 Diagrama de Gantt da calendarização do Projeto de Formação (com Reserva de Alimentação)

Na Figura 5.23 está representado o diagrama de Gantt que mostra a calendarização para o *Projeto de Formação*. A cadeia crítica, representada a vermelho, é definida pelas atividades: A', B'1, B'3, C', D'1 e D'2. Caso alguma das atividades da CC não seja completada no período definido todas as outras a jusante também serão atrasadas e, como consequência, a duração total do projeto será afetada e este será concluído numa data mais tarde. O projeto está previsto ter uma duração de 78 dias (aproximadamente quatro meses). A reserva de projeto, adicionada no final da cadeia crítica, tem uma duração de 48 dias e que pode ser consumida caso alguma atividade se atrase; caso todos os esforços se concentrem no *Projeto de Formação*, em 30 dias este será completado. O *software* adicionou uma reserva de alimentação onde a atividade não-crítica, B'2 (representada a azul), alimenta a cadeia crítica (atividade B'3 - "Verificação e Análise dos Documentos"). No entanto, a reserva não serve o seu propósito - proteger a cadeia crítica de variações na atividade não-crítica que a alimenta - pois aparece em paralelo, em vez de subsequente à atividade não-crítica e consumida logo de início (antes do início do projeto). Como tal, considerou-se que a atividade B'2 - "Supervisão e Orientação na Elaboração dos Documentos" - não tem variabilidade visto que a reserva de alimentação não tem influência sobre a mesma sendo removida do diagrama de Gantt, vide Figura 5.24. Como resultado, a atividade B'2 passa para a cadeia crítica do projeto e por não apresentar variabilidade associada às suas durações alvo e pessimista, a dimensão da reserva do projeto diminui.

<sup>20</sup> *Software* desenvolvido pela *ProChain Solutions* que oferece soluções de programação e planeamento de projetos baseadas na CCPM.

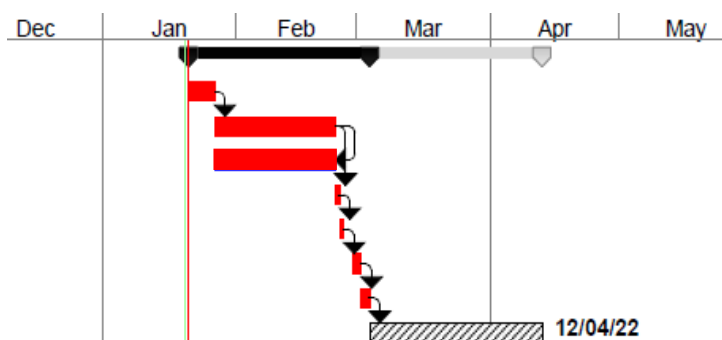


Figura 5.24 Diagrama de Gantt do Projeto de Formação Sem Reserva de Alimentação

Analisando a Figura 5.24, observa-se a calendarização final do *Projeto de Formação* e conclui-se que, caso todos os esforços se concentrem no projeto e tudo correr como previsto (cada recurso realiza a atividade no devido tempo definido), o projeto terá uma duração de 30 dias. Caso contrário, existe uma reserva de projeto de 28 dias que irá ser consumida caso alguma atividade cadeia crítica se atrase, podendo o projeto prolongar-se, no máximo, até 58 dias.

### Diretrizes para a concretização do Projeto de Formação

A implementação do *Projeto de Formação*, que tem por base a injeção proposta I162b, é um processo complexo constituído por um conjunto de atividades que apresentam relações de interdependência e cuja realização depende da participação diversos agentes - Departamentos de Engenharia Industrial, TPM, Produção e Manutenção e Planeamento da Produção. Assim, de acordo com os objetivos intermédios definidos na PRT, todas as etapas foram detalhadas para fornecer as diretrizes para a implementação desta iniciativa de mudança no Sistema pela Nobre Alimentação Lda.

#### A'. Identificação e Priorização das Principais Causas

Esta atividade é composta por diferentes etapas, todas da responsabilidade do Dep.<sup>o</sup> Engenharia Industrial:

- a. Levantamento das principais causas, que estão a ter um elevado impacto no OEE, é realizado através da análise dos dados recolhidas em Mapex. É necessário verificar o histórico de maiores perdas associadas ao erro humano será possível recolher e listar pelo menos duas principais causas;
- b. Para confirmar a informação recolhida é de extrema importância que se realizem visitas ao *Gemba* para observar o processo produtivo e melhor compreender situações é que as [principais] causas identificadas pelo software Mapex acontecem e se os dados recolhidos em Mapex são coerentes com o dia-a-dia do ambiente de produção;
- c. A matriz esforço-benefício é uma ferramenta de gestão que permite a priorização de atividades de melhoria de forma aproveitar ao máximo o tempo e os recursos disponíveis. Esta matriz é bastante útil e de fácil aplicação. Neste caso, a aplicação

da matriz será adaptada à necessidade de priorização de causas a eliminar ou minimizar para alcançar o objetivo do Sistema – *Melhoria do OEE*, vide Figura 5.25. A matriz é dividida em quatro quadrantes - descritos na Tabela 5.20 - definidos por dois eixos principais:

- O eixo vertical representa o benefício que a resolução das causas para a melhoria do OEE;
- O eixo horizontal representa o esforço necessário, em termos de recursos financeiros, tempo de execução e entidades participativas, para eliminar ou minimizar as causas.

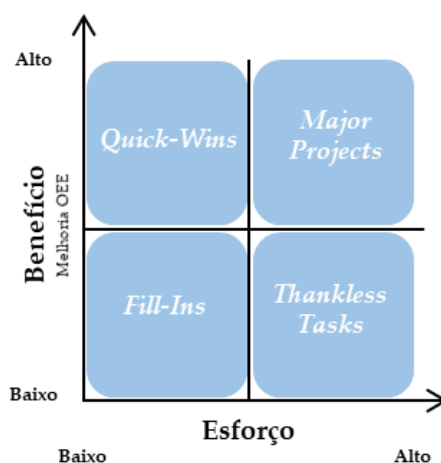


Figura 5.25 Matriz Esforço-Benefício

Tabela 5.20 Descrição dos quadrantes da Matriz Esforço-Benefício

Quadrante	Descrição
<i>Quick-Wins</i>	Contém as causas mais atrativas, i.e., cuja resolução não requer grandes esforços e que beneficiará o Sistema.
<i>Major Projects</i>	Contém as causas que irão beneficiar significativamente o Sistema, mas cuja a sua resolução irá consumir um pouco mais de recursos, nomeadamente tempo. Estas causas podem ser um conjunto de outras tantas <i>Quick-Wins</i> .
<i>Fill-Ins</i>	Contém causas cuja resolução não beneficiará significativamente o Sistema, mas que são de menor esforço.
<i>Thankless Tasks</i>	Contém causas cuja resolução beneficiará pouco o Sistema e seria necessário grande esforço.

- d. A priorização das principais causas (erro humano), que serão alvo de concentração de esforços para a sua eliminação ou minimização, será realizada com base nas informações obtidas a partir da matriz de esforço-benefício. As causas a priorizar devem estar situadas nos dois quadrantes superiores – *Quick-Wins* e *Major Projects*, cujo benefício para o OEE será elevado.

### B'. Definição de *Standards*

A Equipa TPM deve definir novos standards ou atualizar os antigos e elaborar os respetivos documentos para cada causa selecionada – OPLs (*one point lessons*) ou SOPs (*standard operations procedure*) que serão utilizados como referência para a formação dos operadores. No Anexo F, encontra-se um protótipo de OPLs que exemplificam como deve ser feito o corte do filme inferior quando termina a produção (nas linhas de produção - Fatiados).

### C'. Definição do Método de Formação

Com os devidos documentos concluídos – OPLs ou SOPs – é necessário definir o método de formação que será utilizado para conceder o devido treino aos operadores. Os dois tipos de formação apresentados na Tabela abaixo complementam-se. No entanto, o critério de escolha pode ser influenciado pelos operadores de linha (e.g., os operadores são interessados e que aprendem rápido) ou pelas causas identificadas e os respetivos standards desenvolvidos e a implementar, mas o objetivo primário é conseguir alcançar uma formação eficaz.

Tabela 5.21 Tipos de Formação

Tipo de Formação	Descrição
<i>Hands-on training</i>	Formação que se baseia no treino prático dos operadores, conduzido diretamente na área do trabalho. Permite que os operadores melhorem as suas habilidades.
Formação conduzida por instrutores/monitores	Formação conduzida pela Equipa TPM, tradicionalmente numa sala, com auxílio de materiais (OPLs/SOPs). É um tipo de formação bastante eficaz caso se trate de temas mais complexos.

### D'. Calendarização das Ações de Formação

Para conceder o treino (e conhecimento) específico e devido aos operadores, é necessário calendarizar as ações de formação. Como se trata de ações de formação para uma linha de produção que funciona em três turnos é necessário ter em consideração que em períodos de elevada carga de trabalho a tarefa será mais difícil de completar pois a prioridade é [sempre] o cumprimento do plano de produção e, como consequência poderá afetar a disponibilidade dos formadores (Equipa TPM). Assim, é de extrema importância garantir a constante comunicação entre os departamentos de Produção e Planeamento da Produção que é responsável pelo *forecast* do plano de produção da linha.

Para a implementação do *Projeto de Formação* é necessário um total de 58 dias tendo em consideração as atividades e as relações lógicas (precedências) entre as mesmas, os recursos necessários e a variabilidade associada à duração de cada atividade. Para a realização do Projeto são também apresentadas as diretrizes para concretização das diferentes atividades constituintes dos mesmos. Desta forma, é fornecido um plano de ação detalhado e a calendarização das respetivas ações do *Projeto de Formação* para promover a compreensão e a implementação do mesmo por parte da Empresa. O Projeto pode ser adaptado quando houver deteção de novas causas ou pela contratação de novos operadores para a linha de produção.

Uma vez implementado, os resultados do Projeto poderão ser avaliados através do valor de OEE e respetivos indicadores. Com estas medidas de desempenho será possível compreender se a iniciativa de mudança implementada resultou em melhorias no estado da linha de produção e preparar um novo ciclo de melhoria contínua da mesma.

### 5.8.1. Projeção do Impacto do Projeto de Formação no OEE

Caso não existissem UDE no Sistema, idealmente, o mesmo pertenceria ao *World Class Manufacturing* com um OEE de 85%, como defendido por Nakajima (subcapítulo 2.1.2) e estaríamos perante o desempenho ótimo da linha de produção em análise. No entanto, o Sistema apresenta onze UDE e, como consequência, um valor de OEE de 52%. Recordando, o objetivo é “Melhorar o OEE” e, para tal, a primeira ação de melhoria implementada deve concentrar-se na eliminação ou minimização do *core problem* (UDE 1.6 – Operadores com Competências Limitadas). Conforme é observável na Figura 5.26, o UDE 1.6 tem impacto na CN 1.3.2 (Operadores experientes e qualificados) que por sua vez influencia os indicadores do OEE. Na Figura abaixo, conclui-se que esta afeta em  $\frac{1}{6}$  a Disponibilidade (D),  $\frac{1}{4}$  o Desempenho (P) e  $\frac{1}{3}$  a Qualidade. Para eliminação do *core problem* foi apresentado e delineado o plano de ação para a implementação do *Projeto de Formação* que irá permitir o desenvolvimento das capacidades dos operadores e resultará na verificação da CN 1.3.2 e, conseqüentemente, na melhoria do OEE do Sistema.

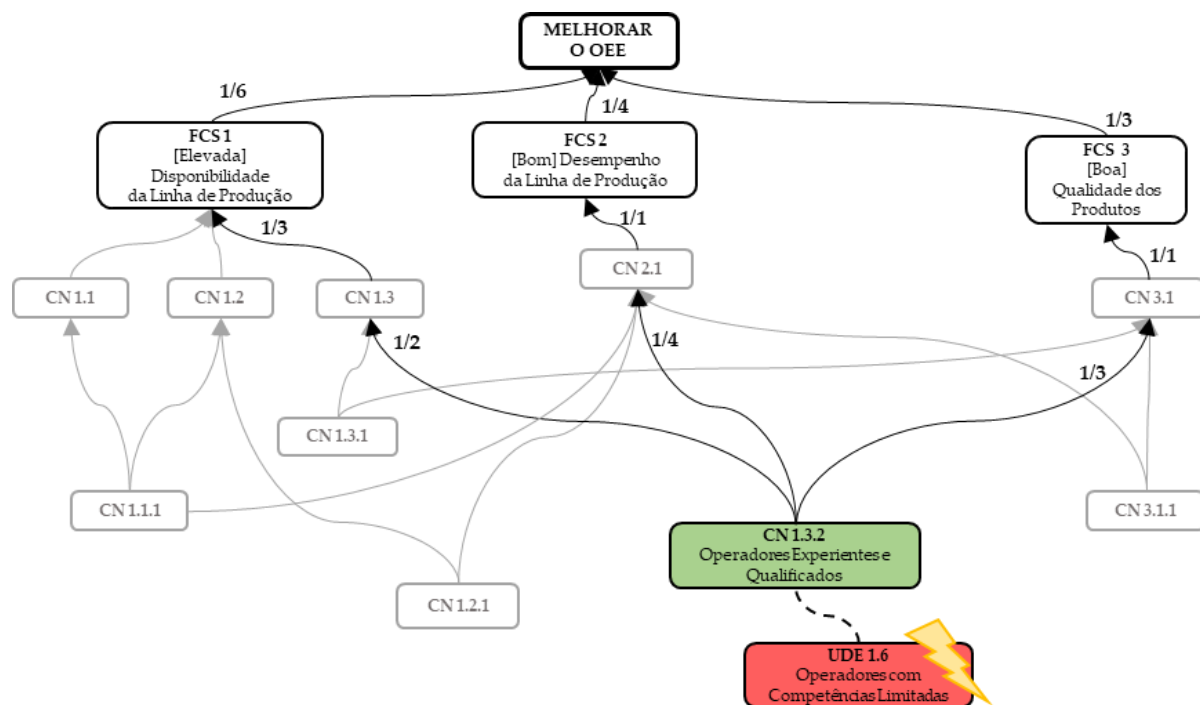


Figura 5.26 GT: Impacto da Eliminação do UDE 1.6 no OEE

Admitindo, otimisticamente, 100% de sucesso no *Projeto de Formação*, o UDE 1.6 será eliminado e, como consequência, o OEE da linha de produção poderá melhorar em 5 pontos percentuais, obtendo um OEE de 59%, superando o *target* definido pela Empresa para o ano de 2021 (subcapítulo 3.2.2). Na Tabela abaixo é possível a síntese e relação entre os resultados iniciais e os expectáveis. O estado inicial do Sistema no que diz respeito ao seu OEE é exposto e descrito no capítulo 3.2.2; os valores ótimos, que refletem o valor ótimo [alcançável] de OEE, têm por base a abordagem de Nakajima, também referido no capítulo 2.2.1; a diferença entre o ótimo e o valor inicial de cada indicador reflete o *gap* que o Sistema tem como objetivo

diminuir. A eliminação do UDE 1.6, irá contribuir para a alcance da CN 1.3.2 (Figura 5.26), a qual irá contribuir para a diminuição do *gap* na Disponibilidade, Desempenho e Qualidade em 3% ( $\frac{1}{6} \times 15\%$ ), 4% ( $\frac{1}{4} \times 14\%$ ) e 5% ( $\frac{1}{3} \times 14\%$ ), respetivamente. (O raciocínio para o cálculo da coluna 5 foi: “Do *gap* referente a cada indicador que eu tenho para diminuir, a eliminação do UDE 1.6 vai permitir diminuir o *gap* em  $x$ ”). Por fim, com estes valores, foi possível projetar o valor expectável de OEE obtido através da implementação do Projeto de Formação.

Tabela 5.22 Resultados Expectáveis na Melhoria do OEE

<b>Indicador</b>	<b>Valor Inicial</b>	<b>Valor Ótimo (Nakajima)</b>	<b>Gap</b>	<b>Contribuição Eliminação UDE 1.6</b>	<b>Valor Final (Melhoria)</b>	<b>OEE (Melhoria)</b>
Disponibilidade (D)	75%	90%	15%	3%	78%	
Desempenho (P)	81%	95%	14%	4%	85%	59%
Qualidade (Q)	85%	99%	14%	5%	90%	

## 5.9. Síntese Global dos Resultados

Neste subcapítulo é apresentado um quadro síntese, Tabelas 5.23, 5.24 e 5.25, dos resultados obtidos através da aplicação das ferramentas lógicas da TOC.

Tabela 5.23 Quadro Síntese de Resultados do Caso de Estudo (1)

APLICAÇÃO DA TOC-TP À MELHORIA DO OEE			
	Resultados da Aplicação da Ferramenta Lógica	Propósito	Ref.
Porquê mudar?	<b>Objetivo: Melhoria do Overall Equipment Efficiency (OEE)</b> FCS 1: [Elevada] Disponibilidade FCS 2: [Bom] Desempenho FCS 3: [Boa] Qualidade CN 1.1: Baixa frequência de paragens não-planeadas CN 1.2: Período de paragens não-planeadas curto CN 1.3: Tempos de changeover otimizados CN 1.1.1: Equipamentos em boas condições de funcionamento CN 1.2.1: Tempos de ajuste otimizados CN 1.3.1: Standardização de processos CN 1.3.2: Operadores experientes e qualificados CN 2.1: Velocidade de produção otimizada CN 3.1: Produtos fabricados conforme especificações CN 3.1.1: Boa qualidade do produto intermédio ( <i>Logs</i> )	Determinação do Objetivo, Fatores Críticos de Sucesso (FCS) e Condições Necessárias (CN) e Identificação dos Efeitos Indesejáveis (UDEs)	Fig. 5.2
	<b>Efeitos Indesejáveis (UDEs)</b> 1.1. Paragens não-planeadas 1.2. Manutenção ineficiente 1.3. Tempos de paragens planeadas demoradas 1.4. Design <i>limitador</i> do equipamento 1.5. Monitorização ineficiente de processos 1.6. Operadores com competências limitadas 2.1. Existência de micro-paragens 2.2. Redução da velocidade de produção 3.1. Necessidade frequente de <i>rework</i> 3.2. Embalagens processadas em vazio 3.3. Baixa qualidade do produto intermédio		Fig. 5.3
O que mudar?	<b>Causas-Raiz Críticas</b> Core Problem (162): Investimento Limitado na Formação de Operadores CRC 124 Limitada a Realização de Análises Causa-raiz a Avarias de Equipamentos CRC 125 Ineficácia de Planos de Manutenção Preventiva CRC 128 Lacunas na Comunicação entre Departamentos CRC 212 Linha Não Sincronizada CRC 325 Reduzida Fiabilidade entre Fornecedores de Materiais de Embalagem CRC 335 Débeis Condições <i>Standard</i> de Estabilização de Temperatura CRC 338 Redzida Fiabilidade entre Fornecedores de Matéria Cámea	Identificação do Core Problem (Restrição do Sistema) e das Causas-Raiz Críticas (CRC)	Fig. 5.6 Fig. 5.7 Fig. 5.8

Tabela 5.24 Quadro Síntese de Resultados do Caso de Estudo (2)

APLICAÇÃO DA TOC-TP À MELHORIA DO OEE					
		Output da Aplicação da Ferramenta Lógica	Propósito	Ref.	
Mudar para o quê?	Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD)	<b>Injeções</b>	Identificação e Resolução de Conflitos através do Desenvolvimento de Injeções	Fig. 5.10 Fig. 5.11 Tabela 5.6 Tabela E.1	
		<b>II24a.</b> Formações de análises causa-raiz <b>II24b.</b> Criação de um ambiente, na Oficina, que proporcione momentos de análise <b>II25.</b> Planos de manutenção preventiva apresentados fornecedor do equipamento <b>II28a.</b> <i>Team-Building Workshops</i> <b>II28b.</b> Resumo por escrito da Intervenção com indicação de ações de prevenção <b>II28c.</b> Supervisores de linha acompanham resoluções de avarias <b>II28d.</b> Auditorias diárias aos equipamentos chave que são alvo de manutenção autónoma <b>II28e.</b> Reunião mensal entre o gestor de manutenção e o gestor e supervisor de linha <b>II62a.</b> Equipas TPM dão formação de boas práticas a operadores <b>II62b.</b> Treino específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos operadores <b>I212a.</b> Aplicar o <i>Turtle Project</i> na Linha 5 <b>I325a.</b> Estabelecimento de novos Requisitos para o material de embalagem <b>I325b.</b> Avaliação e Priorização dos Fornecedores de Material de Embalagem <b>I335a.</b> Garantir o bom funcionamento de armários de frio <b>I335b.</b> Sistema <i>Pull</i> no Armazenamento <b>I338a.</b> Avaliação e Priorização dos Fornecedores de Matéria Cárnea			
		<b>Injeções Adicionais</b> (Fonte: CRT e Criatividade)	Tabela 5.7 Tabela E.2		
Mudar para o quê?	Reservas de Ramos Negativos (NBR)	<b>Efeitos Negativos Colaterais da Injeção I28c.</b>	Identificação de Efeitos Colaterais produzidos pela Introdução das Injeções propostas no Sistema	Fig. 5.14 Fig. 5.15	
		<b>UDE 1.2.</b> Manutenção ineficiente  1. A reparação não é eficaz 2. Há risco de criar um ambiente de trabalho hostil 3. Pouca colaboração entre departamentos (Produção e Manutenção) 4. Comunicação pouco clara entre técnico e supervisor 5. Desacordo acerca da causa/procedimento para resolução da avaria 6. O técnico sente-se observado e, conseqüentemente, inseguro quanto às suas tarefas 7. O desempenho do técnico fica comprometido			<b>Efeitos Negativos Colaterais da Injeção IA4</b>  <b>UDE 1.6.</b> Operadores com competências limitadas 1. Baixo desempenho por parte dos operadores 2. Operadores desmotivados na participação dos Projetos 3. Existência de conflitos na Distribuição de Prémios 4. Operadores não se sentem devidamente recompensados 5. Operadores começam a duvidar das suas capacidades 6. Aprovação de Prémios é complexa 7. Surgimento de dúvidas acerca dos critério de atribuição de prémios
		<b>Desdobramento da Injeção II28c.</b>			<b>Desdobramento da Injeção IA4</b>
		<b>NB1.</b> O Supervisor deve comunicar, claramente, as condições em que ocorreu a avaria <b>NB2.</b> Técnico e Supervisor colaboram para acordar ações preventivas			<b>NB3.</b> Atribuição de prémios em formato de benefícios (e.g., vale de desconto Loja Nobre) <b>NB4.</b> Criação de critérios claros para a seleção de premiados
Mudar para o quê?	Árvore da Realidade Futura (FRF)	<b>Efeitos Desejáveis (DEs)</b>		Representação do Sistema futuro que atinge os Efeitos Desejáveis (DEs) a partir da Implementação das Injeções propostas.	
		<b>DE1.1.</b> Redução da ocorrência de paragens não-planeadas			Fig. 5.17
		<b>DE1.2.</b> Manutenção eficaz e eficiente			Fig. 5.18
		<b>DE1.3.</b> Tempos de paragens planeadas otimizados			
		<b>DE1.4.</b> Equipamento Adaptado			Fig. 5.19
		<b>DE1.5.</b> Monotorização/Supervisão eficiente de processos			
		<b>DE1.6.</b> Operadores com todas as Competências necessárias			
		<b>DE2.1.</b> Baixa frequência de micro-paragens			
<b>DE2.2.</b> Otimização da velocidade de produção					
<b>DE3.1.</b> Pouca necessidade de <i>rework</i>					
<b>DE3.2.</b> Aumento do número de Embalagens					
<b>DE3.3.</b> [Boa] Qualidade do produto intermédio ( <i>logs</i> )					

Tabela 5.25 Quadro Síntese de Resultados do Caso de Estudo (3)

APLICAÇÃO DA TOC-TP À MELHORIA DO OEE			
	<i>Output</i> da Aplicação da Ferramenta Lógica	Propósito	Ref.
Como causar a mudança?  Árvore de Pré-requisitos e Árvore de Transição (PRT + TT)	A Construção da PRT+TT foi aplicada à injeção I162b: "Conceder treino específico consoante as lacunas verificadas nas <i>skills</i> dos operadores"	Identificação de todos os objetivos intermédios necessários para a implementação da injeção e determinação de todos os possíveis obstáculos à mesma.	Fig. 5.20
	<b>Objetivos Intermédios (IO)</b>		
	<b>IO1.</b> Identificação das principais causas (erro humano) que têm impacto significativo no OEE.		
	<b>IO2.</b> Visita ao Gemba		
	<b>IO3.</b> Priorização as principais causas identificadas.		
	<b>IO4.</b> Definição de standards.		
	<b>IO4a.</b> Elaboração de OPLs ou SOPs.		
	<b>IO4b.</b> Orientação e Supervisão dos Documentos		
	<b>IO4c.</b> Análise e Verificação dos Documentos.		
	<b>IO5.</b> Definição do Método de Formação a Adotar		
	<b>IO6.</b> Calendarização da Formação.		
	<b>IO6a.</b> Determinação do Nº horas necessárias para as Ações de Formação		
<b>IO6b.</b> Definição dos horários de Formação			
<b>Obstáculos (O)</b>			
<b>O1.</b> Desconhecido o critério de Priorização.			
<b>O2.</b> Elevada carga de trabalho, provocando a falta de tempo para a implementação de mudanças.			
<b>Ações (IO)</b>			
<b>IO7.</b> Utilizar a Matriz Esforço-Benefício.			
<b>IO8.</b> Garantir o contacto constante com o Dep.º Planeamento da Produção para identificar horários para a realização das ações de Formação.			
Como medir e sustentar a mudança e alcançar o POOGI?  Árvore de Estratégia e Tática (STT)	Árvore aplicada para representar a unificação e sincronização da iniciativa de proposta de mudança apresentada pela Injeção I162b.	Ilustra a sincronização dos esforços dentro da organização para atingir o objetivo, definindo todas as medidas, processos e comportamentos necessários em cada nível e em cada função da organização	Fig. 5.21
	<b>Nível 1</b>		
	<b>Estratégia:</b> Melhoria do Desempenho Global (OEE)		
	<b>Tática:</b> Melhorar a Formação concedida aos Operadores de Linha		
	<b>Nível 2</b>		
	<b>Estratégia:</b> Ministar treino específico consoante as lacunas verificadas nas <i>skills</i> dos operadores		
	<b>Tática:</b> A': Identificação e priorização das principais causas (erro humano) que afetam o valor do OEE B': Definição de Standards C': Definição do Método de Formação D': Calendarização da Formação		
	<b>Nível 3.1.1.</b>		
	<b>Estratégia:</b> N/A		
	<b>Tática:</b> B'1: Elaboração de <i>OPLs</i> ou <i>SOPs</i> B'2: Orientação e supervisão na elaboração das <i>OPLs</i> e <i>SOPs</i> B'3: Análise e verificação das <i>OPLs</i> e <i>SOPs</i>		
<b>Nível 3.1.2.</b>			
<b>Estratégia:</b> N/A			
<b>Tática:</b> D'1: Determinar o Nº horas necessárias para a Formação D'2: Definir o horário das Ações de formação			

Uma vez que as ações de melhoria propostas sejam implementadas, o Sistema precisará de ser avaliado. Neste caso, essa avaliação será quantitativa com base na medida de desempenho OEE e os respetivos indicadores. O OEE é uma ferramenta valiosa que permite a medição de benefícios mensuráveis que melhoram significativamente os resultados financeiros da operação de produção e, conseqüentemente, aumentam a vantagem competitiva das organizações.

O facto de a Empresa ter implementado um *software* MES que recolhe os dados, relativos ao Sistema, em tempo real permite que a avaliação do Sistema seja monitorizada a qualquer momento. Significando isto que é possível medir os impactos das mudanças locais de forma a entender se estas resultaram em melhorias do Sistema, ou até mesmo da organização. A monitorização e análise da métrica OEE é essencial para sustentar a mudança do Sistema e alcançar o POOGI porque permitirá verificar se as injeções propostas estão a produzir os DEs mas também compreender quais os UDE que se fazem sentir no Sistema, permitindo o acompanhamento de um novo ciclo de melhoria.

Por exemplo, no caso dos UDE permanecerem será necessário analisar o Sistema para identificar os principais problemas (i.e., *core problem* e causas-raiz críticas) para eliminá-las através da criação de injeções. Estas, por sua vez, serão alvo de reflexão por parte da organização. Uma vez implementadas, será possível medir o seu impacto das injeções na melhoria do Sistema e os UDE serão novamente analisados, e assim sucessivamente. Desta forma, o Sistema pode operar consoante o POOGI.



## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo, são expostas as principais conclusões da aplicação dos *Thinking Processes* da TOC ao nível operacional de uma organização. Ele inclui as contribuições do Caso de Estudo para a Empresa e para a comunidade científica, bem como as suas limitações. Por último, são apresentadas recomendações de trabalhos futuros a desenvolver neste tema.

### 6.1. Conclusões, Contribuições e Limitações

A presente dissertação teve como objetivo a aplicação dos *Thinking Processes* (TP) da TOC à melhoria do OEE de uma linha de produção da Nobre Alimentação Lda, uma empresa da indústria alimentar cujo negócio é a produção e venda de produtos de origem animal. A investigação teve por base uma pesquisa científica acerca do tema *Thinking Processes*. A metodologia proposta baseou-se no processo dos “Cinco Passos de Focalização” de Goldratt para estabelecer um ciclo de melhoria contínua, a partir da resposta às questões fundamentais da gestão da mudança: “*Porquê mudar?*”, “*O que mudar?*”, “*Mudar para o quê?*”, “*Como causar a mudança?*” e “*Como medir e sustentar a mudança e manter o POOGI?*”. O Caso de Estudo permitiu a aplicação de uma nova metodologia de melhoria contínua na Empresa através da qual foi possível analisar em detalhe a situação atual do Sistema em análise – Linha 5 da área dos Fatiados – compreender os fatores que o inibiam de alcançar um melhor desempenho, desenvolver importantes soluções de melhoria e um plano de implementação detalhado.

Primeiramente, foi necessário definir o Sistema em análise e as suas fronteiras. O Sistema é a Linha 5 da área dos Fatiados; a zona de controlo diz respeito ao departamento de Engenharia Industrial e a esfera de influência são os restantes departamentos integrantes da área de Produção da Empresa Nobre Alimentação Lda.

Seguidamente, com a construção da Árvore de Objetivos (GT) foi possível responder à questão “*Porquê mudar?*” a partir da definição clara e concreta do objetivo principal do Sistema: Melhorar o OEE. A GT permitiu determinar os três fatores críticos de sucesso (FCS) considerados os pré-requisitos necessários para atingir o objetivo definido – e dez condições necessárias (CN) – as atividades que precisam de ser contempladas para satisfazer os FCS. Este diagrama representou, visualmente, o que devia estar a acontecer no Sistema. Como tal, permitiu um consenso acerca do que deve acontecer, facilitando a identificação dos onze efeitos indesejáveis (UDE) que estavam a inibir um melhor desempenho do Sistema.

Para determinar as causas-raiz ou *core problems* (problemas raiz), que desencadeavam os UDE identificados na GT, foi necessário desenvolver a Árvore da Realidade Atual (CRT)

que, por sua vez, permitiu dar a resposta à questão “*O que mudar?*”. A aplicação da CRT resultou na determinação de quatro causas-raiz críticas (CRC) cujo impacto no Sistema é elevado. As CRC são: “Investimento Limitado na Formação de Operadores”, “Limitada a Realização de Análises Causa-raiz das Avarias dos Equipamentos”, “Ineficiência de Planos de Manutenção Preventiva” e “Lacunas na Comunicação entre Departamentos”.

A primeira - “Investimento Limitado na Formação de Operadores” - é responsável pela produção do *core problem* do Sistema - UDE 1.6 - que está relacionado com lacunas presentes nas competências dos operadores e as restantes três são responsáveis pelo UDE 1.2, relacionado com a manutenção ineficiente do Sistema. Concluiu-se que com os esforços de melhoria focados na eliminação das quatro CRC seria possível neutralizar o *core problem* e eliminar as respetivas causas intermédias e UDE, direcionando o Sistema a um melhor desempenho.

Para dar resposta à terceira questão “*Mudar para o quê?*” foram aplicadas três ferramentas: o Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD), a Árvore de Realidade Futura (FRT) e as Reservas de Ramos Negativos (NBR). O CRD permitiu identificar os principais conflitos subjacentes às principais CRC e resolvê-los através da criação de injeções (ações). Foram propostas doze injeções para a mitigação das CRC, contribuindo para a *Melhoria do OEE* do Sistema. Esta fase foi, também, composta por uma reflexão acerca das implicações das injeções desenvolvidas para o estado futuro do Sistema. Duas injeções foram identificadas como podendo pôr em causa a estabilidade futura do Sistema e, como tal, foram desenvolvidas novas injeções, através da aplicação do NBR, para prevenir o (re)aparecimento de UDE.

Com todas as injeções necessárias para a eliminação do “Investimento Limitado na Formação dos Operadores”, conseqüente neutralização do *core problem* - “Operadores com Competências Limitadas” -, mas também para a resolução das CRCs associadas à “Manutenção Ineficiente”, foi possível obter a visualização do estado futuro desejado do Sistema a partir da FRT que nasceu das injeções propostas e culminou nos efeitos desejáveis (DEs), que uma vez alcançados atingem as CN, os FCS e, conseqüentemente, o objetivo principal do Sistema, definidos na Árvore de Objetivos.

Após a validação da sustentabilidade das injeções propostas para a *Melhoria do OEE*, pela construção da FRT, foi possível responder à questão “*Como causar a mudança?*” através da aplicação da Árvore de Pré-requisitos (PRT), juntamente com a Árvore de Transição (TT), numa versão mais robusta da PRT. Esta árvore lógica permitiu estruturar a execução da FRT, pois tem como objetivo desenvolver um conjunto de ações detalhadas (*step-by-step*) que precisam de ser concluídas para a implementação das injeções propostas. Preferencialmente, a PRT devia ter sido desenvolvida para cada injeção. No entanto, não foi possível desenvolver um plano de operacionalização para cada uma devido ao grande número de injeções. Assim, para a aplicação da Árvore PRT foi eleita uma injeção - “*Ministrar treino específico consoante as lacunas verificadas nas skills dos operadores*” - cuja implementação mitigaria, em parte, a CRC do *core problem*, i.e., iria beneficiar significativamente o Sistema.

Por fim, a Árvore de Estratégia & Tática (STT) foi aplicada como a última ferramenta da sequência dos *Thinking Processes* para dar resposta à última questão “*Como medir e sustentar a*

*mudança e alcançar o POOGI?''*. A STT foi utilizada com o objetivo de comunicar e sincronizar uma iniciativa de mudança proposta. A STT apresenta uma visão global da necessidade da sincronização e colaboração entre funções de diferentes departamentos e níveis organizacionais para alcançar a estratégia de mais alto nível – *Melhoria do OEE* – do Sistema. Para complementar a construção da STT e orientar a Empresa Nobre Alimentação Lda foi apresentado o planejamento de um projeto de formação – com base na CCPM – de forma a contribuir para a operacionalização da injeção que poderá minimizar, maioritariamente, o *core problem* do Sistema. Admitindo, otimisticamente, que o projeto delineado tem uma taxa de sucesso de 100%, foi projetado que o valor do OEE aumentará em sete pontos percentuais, superando o *target* definido para o ano de 2021.

O Caso de Estudo verificou os inúmeros fatores que influenciam o valor do OEE da linha de produção em estudo, ilustrados na CRT. Muitos desses fatores estão fora do âmbito do trabalho proposto por se encontrarem fora da esfera de influência definida, no entanto há outros tantos influenciáveis e até mesmo controláveis. O *core problem* do Sistema está associado a uma CRC cuja eliminação depende do desenvolvimento de novas políticas e procedimentos da Empresa, nomeadamente na melhoria dos mecanismos de formação e treino dos operadores que são um fator crítico de sucesso para a melhoria contínua de um Sistema e, conseqüentemente, para a melhoria da produtividade de uma organização como defende Van Assen [13].

Esta investigação confirmou o que Scoggin *et al.* concluíram através da aplicação da TOC-TP num ambiente de produção: uma das principais causas para o baixo desempenho de linha está relacionado com os operadores [104]. Na sua investigação, Scoggin *et al.*, identificaram como *core problem* a qualidade da mão-de-obra; as CRC da mesma, associadas a procedimentos e comportamentos organizacionais, resultavam num baixo desempenho de linha.

### 6.1.1. Contribuições para a Empresa

A construção do CRD mostrou à Empresa que a formação dos operadores não tem que depender em grande parte de investimentos financeiros, mas sim de tempo. No Sistema em análise, o incentivo de formação e, conseqüentemente, aprendizagem contínua é vital para assegurar a confiança dos operadores nas suas capacidades, para garantir o seu envolvimento nos processos de melhoria e aumentar o desempenho das funções dos mesmos para o alcance do nível ótimo desejado de produtividade.

Com esta investigação, a Empresa Nobre Alimentação Lda pode replicar a metodologia, aplicada à Linha 5, para as restantes linhas da área de Fatiados. Independentemente da singularidade de cada linha, desde a configuração, aos produtos fabricados e até aos operadores, todas elas têm um objetivo em comum: atingir o melhor desempenho global possível. Como tal, os diagramas lógicos relativos à Linha 5 servem de referência para futuros projetos de melhoria associados às linhas de produção da área de Fatiados.

### 6.1.2. Contribuições para a Comunidade Científica

O presente Caso de Estudo exhibe duas contribuições para a comunidade científica. A primeira diz respeito à aplicação da metodologia *Thinking Processes* da TOC num exemplo prático e concreto em ambiente de produção, nomeadamente na indústria alimentar. A investigação exemplifica a aplicação da *framework* proposta das ferramentas TOC-TP, ao nível operacional, para que o Sistema opere consoante o *Process of Ongoing Improvement* de forma a alcançar um melhor e sustentável desempenho. O Caso de Estudo é um exemplo prático raro da aplicação, completa e sequencial, de todas as ferramentas lógicas TP, num ambiente de produção, e a utilização da CCPM para o planeamento das ações de melhoria.

Na Literatura, apesar de escassas, as abordagens de melhoria contínua tipicamente utilizadas na indústria alimentar são o *Lean*, Seis Sigma ou o híbrido *Lean Seis Sigma*. Assim, esta investigação pretende contribuir com uma nova abordagem – aplicação da TOC – para a melhoria da eficácia e eficiência da produção na indústria alimentar, podendo servir de referência para estudos e investigações futuras no mesmo setor.

### 6.1.3. Limitações do Estudo

Uma das limitações do estudo foi a escassez de publicações de investigação científica acerca do tema exposto no Caso de Estudo. Os *Thinking Processes* são considerados uma ferramenta que constitui a componente estratégico-reflexivo da TOC e, como consequência, não estão suficientemente aferidos, em publicações científicas, os resultados da sua aplicação ao nível operacional. O presente Caso de Estudo foi realizado ao nível operacional – OEE de uma linha de produção – e apesar do sucesso na identificação dos principais problemas e na criação de soluções para a melhoria do Sistema como um todo, a aplicação das ferramentas revelou-se um processo muito exigente em termos de tempo dado requerer, por um lado o conhecimento e compreensão dos processos e das políticas da organização e, por outro os detalhes subjacentes à gestão do Sistema em análise.

O processo de reflexão da TOC apresenta um método de aplicação estruturado e concreto, com regras claras e bem definidas. No entanto, a aplicação das ferramentas é, em grande parte, qualitativa e existe sempre uma componente subjetiva inerente à interpretação do Sistema em análise, influenciando os resultados do Caso de Estudo.

Nesta investigação não foi possível implementar as injeções propostas. Como tal, não houve dados de *feedback* relativos ao impacto das mudanças no Sistema e não foi possível acompanhar outro ciclo de melhoria para verificar se os efeitos indesejáveis, inicialmente identificados, persistem. Neste Caso de Estudo a última questão “*Como medir e sustentar a mudança e alcançar o POOGI?*” fica em aberto, não sendo possível validar a Teoria e os seus pressupostos, até uma próxima avaliação do desempenho do Sistema após a implementação das injeções propostas.

## 6.2. Recomendações para Trabalhos Futuros

Na sequência do trabalho apresentado, são recomendados alguns pontos que poderão vir a ser matéria de investigação futura:

- Continuidade do projeto com a implementação das soluções propostas e o respetivo controlo e monitorização, por parte da Equipa de *Performance Improvement*, dos dados de *feedback* e acompanhamento de um novo ciclo de melhoria contínua, respondendo à última questão do ciclo POOGI e de forma a combater a inércia e fomentar a melhoria contínua na organização;
- Construção completa da Árvore de Estratégia & Tática (STT), introduzindo todas as soluções propostas para o Sistema, e a respetiva implementação consoante o planeamento baseado na *Critical Chain Project Management* (CCPM) que, neste caso em particular, seria a gestão de um programa de projetos orientando o Sistema em direção ao seu principal objetivo - *Melhoria do OEE*;
- Com a esperança de que a investigação realizada seja um ponto de partida para a organização continuar a aplicar os conceitos da TOC, a exploração da ferramenta DBR seria uma mais-valia para garantir a sincronização das linhas de produção da organização e, conseqüentemente, melhor *performance*.
- Aplicação da TOC-TP a outras áreas e linhas de produção da Empresa Nobre Alimentação Lda. Com a referência do presente Estudo, seria possível identificar os principais problemas e descobrir como melhorar o desempenho desses Sistemas. Por outro lado, seria valioso entender se os problemas são comuns em certas linhas e se a(s) solução(ões) mitigadora(s) seria(m) adaptável(eis) a todas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. P. Mahalik and A. N. Nambiar, "Trends in food packaging and manufacturing systems and technology," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 21, no. 3, pp. 117–128, 2010, doi: 10.1016/j.tifs.2009.12.006.
- [2] Z. T. Şimşit, N. S. Günay, and Ö. Vayvay, "Theory of Constraints: A Literature Review," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 150, no. 231, pp. 930–936, 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.09.104.
- [3] L. B. M. Costa, M. Godinho Filho, L. D. Fredendall, and F. J. Gómez Paredes, "Lean, six sigma and lean six sigma in the food industry: A systematic literature review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 82, no. August, pp. 122–133, 2018, doi: 10.1016/j.tifs.2018.10.002.
- [4] L. B. M. Costa, M. Godinho Filho, L. D. Fredendall, and G. M. Devós Ganga, "Lean six sigma in the food industry: Construct development and measurement validation," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 231, no. June 2020, 2021, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107843.
- [5] D. A. de J. Pacheco, "TOC, lean and six sigma: The missing link to increase productivity?," *African J. Bus. Manag.*, vol. 9, no. 12, pp. 513–520, 2015, doi: 10.5897/ajbm2014.7672.
- [6] C. L. Tulasi and A. R. Rao, "Review on theory of constraints," *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 334–344, 2012.
- [7] Robert Newbold, "Resistance Has No Layers - Theory of Constraints International Certification Organization," *Sustainability: Moving from Common Sense to Common Practice 2016 International Conference*, 2016. [https://www.tocico.org/mpage/Newbold\\_Bio\\_2016](https://www.tocico.org/mpage/Newbold_Bio_2016) (accessed Oct. 14, 2021).
- [8] M. Saunders, P. Lewis, and A. Thornhill, *Research Methods for Business Students*, 8th ed. New York, NY: Pittman Publishing, 2019.
- [9] L. Sanchez and B. Blanco, "Three decades of continuous improvement," *Total Qual. Manag. Bus. Excell.*, vol. 25, no. 9–10, pp. 986–1001, 2014, doi: 10.1080/14783363.2013.856547.
- [10] A. Barnard, "Continuous Improvement and Auditing," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 403–454.
- [11] J. Bessant, S. Caffyn, and J. Gilbert, "Mobilizing continuous improvement for strategic advantage," in *EUROMA*, 1994, pp. 175–180.
- [12] B. A. Lameijer, J. Antony, A. Chakraborty, R. J. M. M. Does, and J. A. Garza-Reyes, "The role of organisational motivation and coordination in continuous improvement implementations: an empirical research of process improvement project success," *Total Qual. Manag. Bus. Excell.*, vol. 32, no. 13–14, pp. 1633–1649, 2021, doi: 10.1080/14783363.2020.1757422.
- [13] M. F. van Assen, "Training, employee involvement and continuous improvement—the moderating effect of a common improvement method," *Prod. Plan. Control*, vol. 32, no. 2, pp. 132–144, 2021, doi: 10.1080/09537287.2020.1716405.
- [14] J. F. G. Requeijo and Z. P. D. P. S. L. Pereira, *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*, 2ª ed. FFCT - Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- [15] J. Li, C. T. Papadopoulos, and L. Zhang, "Continuous improvement in manufacturing and service systems," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 54, no. 21, pp. 6281–6284, 2016, doi: 10.1080/00207543.2016.1228235.
- [16] D. Nave, "How To Compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints: a framework for choosing what's best for your organization," *Qual. Prog.*, vol. 35, no. 3, pp. 73–78, 2002, [Online]. Available: [http://www.google.co.uk/url?sa=t&rcct=j&q=how to compare six sigma, lean and the theory of constraints&source=web&cd=1&ved=0CEMQFjAA&url=http://www.lean.org/Admin/KM](http://www.google.co.uk/url?sa=t&rcct=j&q=how%20to%20compare%20six%20sigma,%20lean%20and%20the%20theory%20of%20constraints&source=web&cd=1&ved=0CEMQFjAA&url=http://www.lean.org/Admin/KM)

- %5Cdocuments/76dc2bfb-33cd-4ef2-bcc8-792c5b4ef6a6-ASQStoryonQualitySigmaAndLean.pdf&ei=If5B.
- [17] D. A. de J. Pacheco, "Theory of Constraints, Lean Manufacturing and Six Sigma: Limits to and possibilities for integration," *Producao*, vol. 24, no. 4, pp. 940–956, 2014, doi: 10.1590/S0103-65132014005000002.
- [18] A. Gupta, A. Bhardwaj, and A. Kanda, "Fundamental concepts of theory of constraints: An emerging philosophy," *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 46, no. 10, pp. 686–692, 2010, doi: 10.5281/zenodo.1327660.
- [19] E. M. Goldratt and J. Cox, *The Goal*. Croton-on-Hudson, NY: North River Press, 1984.
- [20] F. Liu, H. Rhim, K. Park, J. Xu, and C. K. Y. Lo, "HACCP certification in food industry: Trade-offs in product safety and firm performance," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 231, no. April 2020, p. 107838, 2021, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107838.
- [21] B. S. Scott, A. E. Wilcock, and V. Kanetkar, "A survey of structured continuous improvement programs in the Canadian food sector," *Food Control*, vol. 20, no. 3, pp. 209–217, 2009, doi: 10.1016/j.foodcont.2008.04.008.
- [22] N. Kim-Soon *et al.*, "Quality management practices of food manufacturers: A comparative study between small, medium and large companies in Malaysia," *Sustain.*, vol. 12, no. 18, 2020, doi: 10.3390/su12187725.
- [23] I. Arvanitoyannis and A. Kassaveti, "HACCP and ISO 22000 - A Comparison of Two Systems," in *HACCP and ISO 22000: Application to Foods of Animal Origin*, Oxford: Wiley-Blackwell Limited, 2009, pp. 3–45.
- [24] L. L. Ribeiro-Furtini and L. R. de Abreu, "Utilização de APPCC na indústria de alimentos," *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 30, no. 2, pp. 358–363, 2006, doi: 10.1590/s1413-70542006000200025.
- [25] O. A. Kolawole, J. L. Mishra, and Z. Hussain, "Addressing food waste and loss in the Nigerian food supply chain: Use of Lean Six Sigma and Double-Loop Learning," *Ind. Mark. Manag.*, vol. 93, no. May 2020, pp. 235–249, 2021, doi: 10.1016/j.indmarman.2021.01.006.
- [26] R. Shah and P. T. Ward, "Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance," *J. Oper. Manag.*, vol. 21, no. 2, pp. 129–149, 2003, doi: 10.1016/S0272-6963(02)00108-0.
- [27] F. A. Abdulmalek, J. Rajgopal, and K. L. S. Needy, "A classification scheme for the process industry to guide the implementation of lean," *EMJ - Eng. Manag. J.*, vol. 18, no. 2, pp. 15–25, 2006, doi: 10.1080/10429247.2006.11431690.
- [28] I. Đekić, "Lean Manufacturing in Two Serbian Food Companies - Case studies," *Int. J. Qual. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 131–136, 2012.
- [29] I. Kennedy, A. Plunkett, and J. Haider, "Implementation of Lean Principles in a Food Manufacturing Company," *23rd Int. Conf. Flex. Autom. Intell. Manuf.*, no. June, pp. 379–387, 2013, doi: 10.1007/978-3-319-00557-7\_127.
- [30] O. Yavuz, E. Doğan, E. Carus, and A. Görgülü, "Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 158, pp. 227–234, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.09.046.
- [31] R. B. Lopes, F. Freitas, and I. Sousa, "Application of lean manufacturing tools in the food and beverage industries," *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 10, no. 3, pp. 120–130, 2015, doi: 10.4067/s0718-27242015000300013.
- [32] J. Lozano, J. C. Saenz-Díez, E. Martínez, E. Jiménez, and J. Blanco, "Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 90, no. 9–12, pp. 3607–3618, 2017, doi: 10.1007/s00170-016-9686-x.
- [33] T. L. M. Morgado, J. Sandiães, and H. V. G. Navas, "TRIZ and lean philosophies applied together in management activities," *Qual. Innov. Prosper.*, vol. 23, no. 3, pp. 90–102, 2019, doi: 10.12776/QIP.V23I3.1289.
- [34] D. Seth, N. Seth, and D. Goel, "Application of value stream mapping (VSM) for minimization of wastes in the processing side of supply chain of cottonseed oil industry in Indian context," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 19, no. 4, pp. 529–550, 2008, doi: 10.1108/17410380810869950.
- [35] E. Jiménez, A. Tejada, M. Pérez, J. Blanco, and E. Martínez, "Applicability of lean production with VSM to the Rioja wine sector," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 7, pp. 1890–1904, 2012, doi: 10.1080/00207543.2011.561370.
- [36] M. Tanco, J. Santos, J. L. Rodriguez, and J. Reich, "Applying lean techniques to nougat fabrication: A seasonal case study," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 68, no. 5–8, pp. 1639–1654,

- 2013, doi: 10.1007/s00170-013-4960-7.
- [37] J. V. Moya, E. M. Déleg, C. V. Sánchez, and N. R. Vásquez, "Implementation of lean manufacturing in a food enterprise," *Enfoque UTE*, Quito, Ecuador, pp. 1-12, 2016.
- [38] J. Wesana, X. Gellynck, M. K. Dora, D. Pearce, and H. De Steur, "Measuring food and nutritional losses through value stream mapping along the dairy value chain in Uganda," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 150, no. June, p. 104416, 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104416.
- [39] H. Hung and M. Sung, "Applying six sigma to manufacturing processes in the food industry to reduce quality cost," vol. 6, no. 3, pp. 580-591, 2011, doi: 10.5897/SRE10.823.
- [40] D. A. Desai, P. Kotadiya, N. Makwana, and S. Patel, "Curbing variations in packaging process through six sigma way in a large-scale food-processing industry," *J. Ind. Eng. Int.*, vol. 11, no. 1, pp. 119-129, 2015, doi: 10.1007/s40092-014-0082-6.
- [41] S. A. H. Lim, J. Antony, and S. Albliwi, "Statistical Process Control (SPC) in the food industry - A systematic review and future research agenda," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 37, no. 2, pp. 137-151, 2014, doi: 10.1016/j.tifs.2014.03.010.
- [42] S. A. Halim Lim, J. Antony, N. Arshed, and S. Albliwi, "A systematic review of statistical process control implementation in the food manufacturing industry," *Total Qual. Manag. Bus. Excell.*, vol. 28, no. 1-2, pp. 176-189, 2017, doi: 10.1080/14783363.2015.1050181.
- [43] N. Sibanda and U. Ramanathan, "A holistic approach of quality: a case of UK chocolate manufacturing," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 3, no. 5, pp. 711-731, 2019, doi: 10.1108/IJQRM-12-2018-0332.
- [44] G. Besseris, "Multi-factorial Lean Six Sigma product optimization for quality, leanness and safety: A case study in food product improvement," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 5, no. 3, pp. 253-278, 2014, doi: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2013-0033>.
- [45] M. Dora and X. Gellynck, "Lean Six Sigma Implementation in a Food Processing SME: A Case Study," *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 31, no. 7, pp. 1151-1159, 2015, doi: 10.1002/qre.1852.
- [46] A. Farissi, M. El Oumami, and Z. Beidouri, "Assessing Lean Adoption in Food Companies: The Case of Morocco," *Int. J. Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 5-14, 2021, doi: 10.14716/ijtech.v12i1.3837.
- [47] A. Maleszka and M. Linke, "Improvement of management process by using Lean Six Sigma tools in some big organisation of food industry," *Polish J. Nat. Sci.*, vol. 31, no. 1, pp. 101-112, 2016.
- [48] A. Panwar, B. P. Nepal, R. Jain, and A. P. S. Rathore, "On the adoption of lean manufacturing principles in process industries," *Prod. Plan. Control*, vol. 26, no. 7, pp. 564-587, 2015, doi: 10.1080/09537287.2014.936532.
- [49] M. Dora, J. Wesana, X. Gellynck, N. Seth, B. Dey, and H. De Steur, "Importance of sustainable operations in food loss: evidence from the Belgian food processing industry," *Ann. Oper. Res.*, vol. 290, no. 1-2, pp. 47-72, 2020, doi: 10.1007/s10479-019-03134-0.
- [50] M. Dora, D. Van Goubergen, M. Kumar, A. Molnar, and X. Gellynck, "Application of lean practices in small and medium-sized food enterprises," *Br. Food J.*, vol. 116, no. 1, pp. 124-141, 2014, doi: 10.1108/BFJ-05-2012-0107.
- [51] L. Stevenson and R. Jain, "Lean manufacturing in the food industry," *Food Sci. Technol.*, vol. 19, no. 3, pp. 32-34, 2005.
- [52] Z. Kang, C. Catal, and B. Tekinerdogan, "Machine learning applications in production lines: A systematic literature review," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 149, no. April, p. 106773, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106773.
- [53] G. Pinto, F. J. G. Silva, A. Baptista, N. O. Fernandes, R. Casais, and C. Carvalho, "TPM implementation and maintenance strategic plan - A case study," *Procedia Manuf.*, vol. 51, no. 2020, pp. 1423-1430, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.198.
- [54] M. Suryaprakash, M. Gomathi Prabha, M. Yuvaraja, and R. V. Rishi Revanth, "Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using tpm," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 9348-9353, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.820.
- [55] S. Sahoo and S. Yadav, "Influences of TPM and TQM Practices on Performance of Engineering Product and Component Manufacturers," *Procedia Manuf.*, vol. 43, pp. 728-735, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.02.111.
- [56] B. G. Mwanza and C. Mbohwa, "Design of a Total Productive Maintenance Model for Effective Implementation: Case Study of a Chemical Manufacturing Company," *Procedia Manuf.*, vol. 4, no. December, pp. 461-470, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.11.063.

- [57] S. Nakajima, *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Cambridge, MA: Productivity Press Inc., 1988.
- [58] R. Singh, A. M. Gohil, D. B. Shah, and S. Desai, "Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study," *Procedia Eng.*, vol. 51, no. NUICONE 2012, pp. 592–599, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.01.084.
- [59] E. Y. T. Adesta, H. A. Prabowo, and D. Agusman, "Evaluating 8 pillars of Total Productive Maintenance (TPM) implementation and their contribution to manufacturing performance," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 290, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/290/1/012024.
- [60] V. Sonmez, M. C. Testik, and O. M. Testik, "Overall equipment effectiveness when production speeds and stoppage durations are uncertain," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 95, no. 1–4, pp. 121–130, 2018, doi: 10.1007/s00170-017-1170-8.
- [61] M. M. Schiraldi and M. Varisco, "Overall Equipment Effectiveness: consistency of ISO standard with literature," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 145, no. May, p. 106518, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106518.
- [62] H. Soltanali, M. Khojastehpour, and J. Torres Farinha, "Measuring the production performance indicators for food processing industry," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 173, no. August 2020, 2021, doi: 10.1016/j.measurement.2020.108394.
- [63] A. J. De Ron and J. E. Rooda, "OEE and equipment effectiveness: An evaluation," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 44, no. 23, pp. 4987–5003, 2006, doi: 10.1080/00207540600573402.
- [64] L. del C. N. Corrales, M. P. Lambán, M. E. Hernandez Korner, and J. Royo, "Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 18, 2020, doi: 10.3390/APP10186469.
- [65] J. Rorat and S. Tabor, "Assessment of productivity of a vegetable paste production line," *E3S Web Conf.*, vol. 132, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201913201021.
- [66] R. Hedman, M. Subramaniyan, and P. Almström, "Analysis of Critical Factors for Automatic Measurement of OEE," *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 128–133, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.11.023.
- [67] P. Muchiri and L. Pintelon, "Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion," in *International Journal of Production Research*, vol. 46, no. 13, 2008, pp. 3517–3535.
- [68] Vorne Industries, "World-Class OEE: Set Targets To Drive Improvement | OEE | OEE," 2021. <https://www.oee.com/world-class-oee/> (accessed Oct. 21, 2021).
- [69] K. M. Cheh, "Analysis of Overall Equipment Effectiveness (OEE) within different sectors in different Swedish industries," School of Innovation, Design and Engineering, Mälardalen University, 2014.
- [70] P. H. Tsarouhas, "Equipment performance evaluation in a production plant of traditional Italian cheese," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 51, no. 19, pp. 5897–5907, 2013, doi: 10.1080/00207543.2013.807373.
- [71] P. Tsarouhas, "Evaluation of maintenance management through the overall equipment effectiveness of a yogurt production line in a medium-sized Italian company," *Int. J. Product. Qual. Manag.*, vol. 16, no. 3, pp. 298–311, 2015.
- [72] P. Tsarouhas, "Improving operation of the croissant production line through overall equipment effectiveness (OEE): A case study," *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 68, no. 1, pp. 88–108, 2019, doi: 10.1108/IJPPM-02-2018-0060.
- [73] L. M. Ikeziri, F. B. de Souza, M. C. Gupta, and P. de Camargo Fiorini, "Theory of constraints: review and bibliometric analysis," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 57, no. 15–16, pp. 5068–5102, 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1518602.
- [74] L. P. Leach, "Critical Chain Project Management Improves Project Performance," *Proj. Manag. J.*, vol. 30, no. 2, pp. 39–51, 1999, doi: 10.1177/875697289903000207.
- [75] R. M. F. Dias, L. D. Silva, and A. Tenera, "Application of a proposed TLS model in a Lean Productive System," *Indep. J. Manag. Prod.*, vol. 10, no. 1, p. 076, 2019, doi: 10.14807/ijmp.v10i1.830.
- [76] J. H. Blackstone and J. F. Cox III, *APICS Dictionary*. Alexandria, VA: APICS, 2004.
- [77] H. W. Dettmer, *The logical thinking process: a systems approach to complex problem solving*. 2007.
- [78] K. J. Watson, J. H. Blackstone, and S. C. Gardiner, "The evolution of a management philosophy: The theory of constraints," vol. 25, pp. 387–402, 2007, doi: 10.1016/j.jom.2006.04.004.
- [79] E. M. Goldratt, *The Haystack Syndrome: Sifting Information Out of the Data Ocean*. Croton-on-

- Hudson, NY: North River Press.
- [80] E. M. Goldratt, *It's Not Luck*. Great Barrington, MA: North River Press, 1994.
- [81] E. Goldratt, *Critical Chain*. North River Press, 1997.
- [82] A. Barnard, "Applying Theory of Constraint 's 5 Focusing Steps to developing Business Strategy," *Goldratt Research Labs*. pp. 1-12, 2016.
- [83] L. A. Ferguson, "Applications of Strategic and Tactics Tree in Organizations," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 1015-1044.
- [84] A. Tenera, "Contribuição para a melhoria da gestão da incerteza na duração dos projectos através da teoria das restrições," Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Nova de Lisboa, 2006.
- [85] M. Gaspar, "Aplicação da Teoria das Restrições à Gestão de Programas Lean Operacionais," Faculdade de Ciência e Tecnologias (FCT) da Universidade Nova de Lisboa, 2019.
- [86] V. J. Mabin and J. Davies, "The TOC Thinking Processes," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 631-669.
- [87] J. Cox, L. Boyd, T. Sullivan, R. Reid, and B. Cartier, "TOCICO Dictionary," pp. 1-135, 2012, [Online]. Available: <http://www.tocico.org/?page=dictionary%5Cn>.
- [88] J. H. Blackstone, "A Review of Literature on Drum-Buffer-Rope, Buffer Management and Distribution," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 145-173.
- [89] A. Izmailov, D. Korneva, and A. Kozhemiakin, "Effective Project Management with Theory of Constraints," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 229, pp. 96-103, 2016, doi: 10.1016/j.sbspro.2016.07.118.
- [90] C. S. Budd and J. Cerveny, "A Critical Chain Project Management Primer," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 45-77.
- [91] M. S. Spencer and A. Lockamy, "Using V-A-T analysis as a framework for supply chain management: A case study," *Eur. J. Econ. Financ. Adm. Sci.*, no. 17, pp. 69-80, 2009.
- [92] G. da Silva Stefano, T. dos S. Antunes, D. P. Lacerda, M. I. Wolf Motta Morandi, and F. S. Piran, "The impacts of inventory in transfer pricing and net income: Differences between traditional accounting and throughput accounting," *Br. Account. Rev.*, no. xxxx, p. 101001, 2021, doi: 10.1016/j.bar.2021.101001.
- [93] D. Smith and J. Herman, "Resolving Measurement/Performance Dilemmas," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 373-401.
- [94] F. S. Piran, D. P. Lacerda, A. S. Camanho, and M. C. A. Silva, "Internal benchmarking to assess the cost efficiency of a broiler production system combining data envelopment analysis and throughput accounting," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 238, no. November 2020, p. 108173, 2021, doi: 10.1016/j.ijpe.2021.108173.
- [95] S. ur Rahman, "Theory of constraints: A review of the philosophy and its applications," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 18, no. 4, pp. 336-355, 1998, doi: 10.1108/01443579810199720.
- [96] R. A. Reid, "Applying the TOC five-step focusing process in the service sector: A banking subsystem," *Manag. Serv. Qual.*, vol. 17, no. 2, pp. 209-234, 2007, doi: 10.1108/09604520710735209.
- [97] V. S. Roldão and J. S. Ribeiro, *Gestão das Operações: Uma abordagem Integrada*, 1ª ed. Lisboa: MONITOR, 2007.
- [98] D. Lucas and A. Tenera, "Input Analysis in Simulation: A Case Study Based on the Variability in Manufacturing Lines," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 280, pp. 465-477, 2014.
- [99] A. C. Dias, "Application of the ToC Thinking Processes to an Industrial Production Area – José Maria da Fonseca Vinhos, SA Case Study," 2017.
- [100] H. W. Dettmer, "Constraint Management," *SpringerReference*, 2011, doi: 10.1007/springerreference\_6503.
- [101] B. Ronen and Y. Spector, "Managing System Constraints: A Cost/Utilization Approach," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 30, no. 9, pp. 2045-2061, doi: 10.1080/00207549208948137.
- [102] L. J. Taylor and G. Miller, "Goldratt's thinking process applied to bank mergers and acquisitions," *Probl. Perspect. Manag.*, vol. 2, no. 4, pp. 219-230, 2004.

- [103] E. Goldratt-Ashlag, "The Layers of Resistance: The Buy-In Process According to TOC," in *Theory of Constraints Handbook*, J. F. Cox III and J. . Schleier, Eds. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 571–585.
- [104] J. M. Scoggin, R. J. Segelhorst, and R. A. Reid, "Applying the TOC thinking process in manufacturing: a case study," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 41, no. 4, pp. 767–797, 2003, doi: 10.1080/0020754031000065557.
- [105] S. Kim, V. J. Mabin, and J. Davies, "The theory of constraints thinking processes: Retrospect and prospect," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 28, no. 2, pp. 155–184, 2008, doi: 10.1108/01443570810846883.
- [106] R. A. Inman, M. L. Sale, and K. W. Green, "Analysis of the relationships among TOC use, TOC outcomes, and organisational performance," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 29, no. 4, pp. 341–356, 2009, doi: 10.1108/01443570910945819.
- [107] M. Gaspar, L. Cristovão, and A. Tenera, "Theory of Constraints Thinking Processes on Operational Lean Programs Management Improvement : An Energy Producer Company Case," in *Technological Innovation for Industry and Service Systems - 10th IFIP WG 5.5/SOCOLNET Advanced Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems, DoCEIS 2019, Proceeding*, 2019.
- [108] O. Cohen, "Daily Management with TOC," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 671–727.
- [109] V. J. Mabin and S. J. Balderstone, *The World of the Theory of Constraints: A Review of the International Literature*. Boca Raton, Florida, USA: St Lucie Press (APICS Series on Constraints Management), 2000.
- [110] H. W. Dettmer, *Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement*. ASQC Quality Press, Milwaukee, WI, 1997.
- [111] M. J. Cooper and T. W. Loe, "Using the Theory of Constraints' Thinking Processes to Improve Problem-Solving Skills in Marketing," *J. Mark. Educ.*, vol. 22, no. 2, pp. 137–146, 2000, doi: 10.1177/0273475300222008.
- [112] L. Boyd, M. Gupta, and L. Sussman, "A New Approach to Strategy Formulation: Opening the Black Box," *J. Educ. Bus.*, vol. 76, no. 6, pp. 338–344, 2001, doi: 10.1080/08832320109599659.
- [113] S. ur Rahman, "The theory of constraints' thinking process approach to developing strategies in supply chains," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 32, no. 10, pp. 809–828, 2002, doi: 10.1108/09600030210455429.
- [114] J. M. Scoggin, R. J. Segelhorst, and R. A. Reid, "Applying the TOC thinking process in manufacturing: A case study," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 41, no. 4, pp. 767–797, 2003, doi: 10.1080/0020754031000065557.
- [115] C. V. Chaudhari and S. K. Mukhopadhyay, "Application of Theory of Constraints in an integrated poultry industry," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 41, no. 4, pp. 799–817, 2003, doi: 10.1080/0020754031000065548.
- [116] K. Choe and S. Herman, "Using theory of constraints tools to manage organizational change: a case study of Euripa Labs," *Int. J. Manag. organazational Behav.*, vol. 8, no. 6, pp. 540–558, 2004, [Online]. Available: <http://www.usq.edu.au/extrfiles/business/journals/hrmjournl/internationalarticles/volume8/vol8choe6.pdf>.
- [117] T. Shoemaker and R. A. Reid, "Applying the TOC Thinking Process: A case study in the government sector," *Hum. Syst. Manag.*, vol. 24, 2005.
- [118] Z. Lin, "Using TOC thinking process tools to improve safety performance," in *2009 WRI World Congress on Software Engineering, WCSE 2009*, 2009, vol. 3, pp. 13–17, doi: 10.1109/WCSE.2009.46.
- [119] K. Suerken, "TOC for Education," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 787–812.
- [120] I. Dalci and L. Kosan, "Theory of Constraints Thinking-Process Tools Facilitate Goal Achievement for Hotel Management: A Case Study of Improving Customer Satisfaction," *J. Hosp. Mark. Manag.*, vol. 21, no. 5, pp. 541–568, 2012, doi: 10.1080/19368623.2012.626751.
- [121] Y. C. Chou, C. H. Lu, and Y. Y. Tang, "Identifying inventory problems in the aerospace industry using the theory of constraints," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 16, pp. 4686–4698, 2012, doi: 10.1080/00207543.2011.631598.
- [122] L. Taylor and S. Nayak, "Goldratt's Theory Applied to the Problems Associated with an

- Emergency Department at a Hospital," *Adm. Sci.*, vol. 2, no. 4, pp. 235–249, 2012, doi: 10.3390/admsci2040235.
- [123] M. Abdi, A. Hasanzadeh, A. A. Fani, and S. H. Ghodsi Poor, "Exploring the bottleneck of Iran's national innovation system by TOC thinking process," *Technol. Econ. Dev. Econ.*, vol. 20, no. 4, pp. 601–623, 2014, doi: 10.3846/20294913.2014.880960.
- [124] A. O. Amonge, "Application of Goldratt's Thinking Process to Constraints Within an Emergency Department-A Case Study," Western Kentucky University, 2015.
- [125] I. Pergher, V. P. Brandolf, D. A. de J. Pacheco, and G. L. R. Vaccaro, "A patient-centric approach to improve health care services," *Cogent Bus. Manag.*, vol. 3, no. 1, 2016, doi: 10.1080/23311975.2016.1227232.
- [126] G. Akman and L. Şenol, "Analyzing Difficulties about Application of Bologna Process in Turkey via Goldratt's Thinking Processes: A Case Study," *J. Eur. Educ.*, vol. 6, no. 2, pp. 100–121, 2016, doi: 10.18656/jee.90668.
- [127] H. Lowalekar and R. R. Ravi, "Revolutionizing blood bank inventory management using the TOC thinking process: An Indian case study," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 186, no. April 2016, pp. 89–122, 2017, doi: 10.1016/j.ijpe.2017.02.003.
- [128] F. Eidelwein, F. A. S. Piran, D. P. Lacerda, A. Dresch, and L. H. Rodrigues, "Exploratory analysis of modularization strategy based on the theory of constraints thinking process," *Glob. J. Flex. Syst. Manag.*, vol. 19, no. 2, pp. 111–122, 2018, doi: 10.1007/s40171-017-0177-1.
- [129] V. Mabin, J. Yee, S. Babington, V. Caldwell, and R. Moore, "Using the Theory of Constraints to resolve long-standing resource and service issues in a large public hospital," *Heal. Syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 230–249, 2018, doi: 10.1080/20476965.2017.1403674.
- [130] J. M. Bauer, A. Vargas, M. A. Sellitto, M. C. Souza, and G. L. Vaccaro, "The thinking process of the theory of constraints applied to public healthcare," *Bus. Process Manag. J.*, vol. 25, no. 7, pp. 1543–1563, 2019, doi: 10.1108/BPMJ-06-2016-0118.
- [131] J. F. Cox, "Using the theory of constraints' processes of ongoing improvement to address the provider appointment scheduling system execution problem," *Heal. Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 41–72, 2021, doi: 10.1080/20476965.2019.1646105.
- [132] S. J. Kuruvilla, "Theory of Constraints and the Thinking Process," *Int. J. Bus. Insights Transform.*, vol. 11, no. 1, pp. 10–14, 2018.
- [133] C. Kasemset, "A review on quality improvement and Theory of Constraints (TOC)," *2011 IEEE Int. Conf. Qual. Reliab. ICQR 2011*, pp. 327–330, 2011, doi: 10.1109/ICQR.2011.6031735.
- [134] L. Scheinkopf, "Thinking Processes Including S&T Trees," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 729–783.
- [135] V. J. Mabin, S. Forgeson, and L. Green, "Harnessing resistance: Using the theory of constraints to assist change management," *J. Eur. Ind. Train.*, vol. 25, no. February 2001, pp. 168–191, 2001, doi: 10.1108/EUM0000000005446.
- [136] A. Barnard and R. Immelman, "Holistic TOC implementation case studies: Lessons learned from the public and private sector," in *Theory of Constraints Handbook*, J. F. Cox and J. G. Shleier, Eds. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 455–498.
- [137] M. Gupta, L. Boyd, and F. Kuzmits, "The evaporating cloud: A tool for resolving workplace conflict," *Int. J. Confl. Manag.*, vol. 22, no. 4, pp. 394–412, 2011, doi: 10.1108/10444061111171387.
- [138] M. Orouji, "Theory of constraints: A state-of-art review," *Accounting*, vol. 2, pp. 45–52, 2016, doi: 10.5267/j.ac.2015.12.004.
- [139] M. Ghaffari and M. W. Emsley, "Current status and future potential of the research on Critical Chain Project Management," *Surv. Oper. Res. Manag. Sci.*, vol. 20, no. 2, pp. 43–54, 2015, doi: 10.1016/j.sorms.2015.10.001.
- [140] T. Raz, R. Barnes, and D. Dvir, "A critical look at critical chain project management," *IEEE Eng. Manag. Rev.*, vol. 32, no. 2, pp. 35–44, 2004, doi: 10.1109/EMR.2004.25048.
- [141] S. K. Chaharsooghi, "The Review of Critical Chain Project Management (CCPM)," no. July, pp. 1–11, 2019.
- [142] E. M. Goldratt, "Introduction to TOC - My Perspective," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 3–9.
- [143] M. Shurrab, "Traditional Critical Path Method versus Critical Chain Project Management: A Comparative View," *Int. J. Econ. Manag. Sci.*, vol. 04, no. 09, pp. 4–9, 2015, doi: 10.4172/2162-6359.1000292.

- [144] F. B. De Souza and O. R. Luiz, "Chain practices: antagonisms and opportunities for complementation," pp. 464–476, 2017.
- [145] E. Walker, "The Problems with Project Management," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 13–44.
- [146] H. Robinson and R. Richards, "Critical chain project management: motivation & overview," in *Proceedings of the Aerospace Conference*, 2010, pp. 1–10, doi: 10.1109/AERO.2010.5446879.
- [147] M. Taghipour, F. Seraj, M. Amin, and M. Changiz Delivand, "Evaluating CCPM Method Versus CPM in Multiple Petrochemical Projects," *Management*, vol. 3, no. 3, pp. 1–20, 2020, doi: 10.31058/j.mana.2020.32004.
- [148] AGI-Goldratt, "Combining Lean, Six Sigma and the Theory of Constraints to Achieve Breakthrough Performance," in *Theory of Constraints Handbook*, J. James F. Cox II and John G. Scheiler, Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010, pp. 1067–1080.
- [149] Project Management Institute (PMI), "THE PROJECT MANAGEMENT FRAMEWORK," in *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBK Guide)*, 4th ed., Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2008.
- [150] B. She, B. Chen, and N. G. Hall, "Buffer sizing in critical chain project management by network decomposition," *Omega (United Kingdom)*, vol. 102, p. 102382, 2021, doi: 10.1016/j.omega.2020.102382.
- [151] R. Newbold, "Scheduling for Success with Critical Chain," *Proch. Solut. Inc.*, no. September, pp. 1–14, 2010.
- [152] O. I. Tukul, W. R. Rom, and E. S. Duni, "An Investigation of Buffer Sizing Techniques in Critical Chain Scheduling," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 172, no. 2, pp. 401–416, 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2004.10.019.
- [153] A. Tenera, "Critical chain buffer sizing: a comparative study," in *PMI® Research Conference: Defining the Future of Project Management*, Warsaw, Poland, 2008, pp. 1–10.
- [154] J. Yu, Z. Xu, and C. Hu, "Buffer sizing approach in critical chain project management under multiresource constraints," in *Proceedings of 2013 6th international conference on information management, innovation management and industrial engineering (ICII)*, 2013, pp. 71–75, doi: 10.1109/ICII.2013.6703669.
- [155] M. and Barker and J. Rawtani, *Practical Batch Process Management*. 1967.
- [156] X. Chen and T. Voigt, "Implementation of the Manufacturing Execution System in the food and beverage industry," *J. Food Eng.*, vol. 278, no. January, p. 109932, 2020, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.109932.
- [157] D. T. Houle and T. Burton-Houle, "Overcoming resistance to change - the TOC way," in *Constraints Management Symposium Proceedings*, 1998, pp. 15–18.
- [158] S. D. Button, "The three-cloud process and communication trees," in *Constraints Management Symposium Proceedings*, 2000, pp. 119–22.
- [159] J. James F. Cox II and John G. Scheiler, *Theory of Constraints Handbook*, vol. 148. 2010.

A. |  
OS CINCO PASSOS DE FOCALIZAÇÃO DE  
GOLDRATT

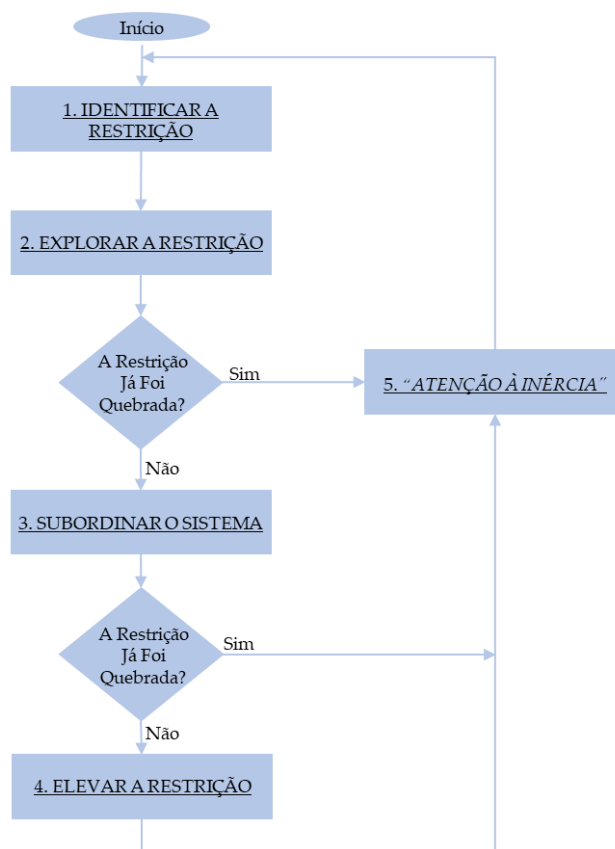


Figura A. 1 Fluxograma ilustrativo do processo dos Cinco Passos de Focalização  
Adaptado de R. Reid (2007)

## SIMBOLOGIA E CONCEITOS BÁSICOS DA TOC-TP

Para facilitar a compreensão e a comunicação dos diagramas lógicos, na Figura abaixo estão representados os símbolos-padrão da TOC-TP, bem como a definição de conceitos inerentes à metodologia.

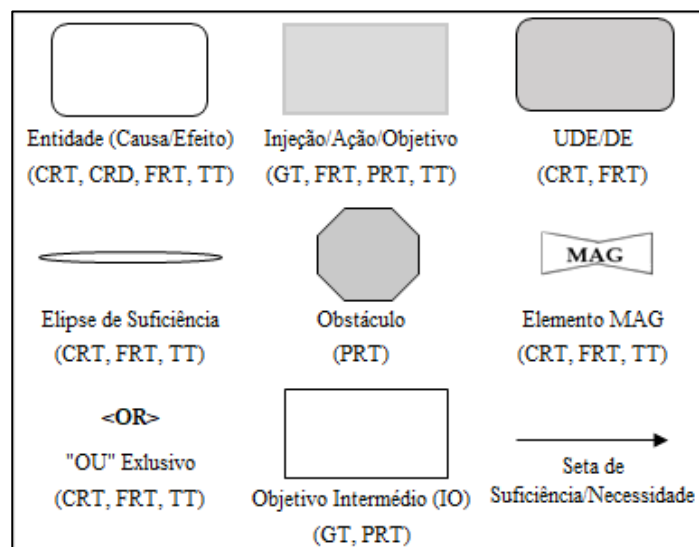


Figura B. 1 Símbolos utilizados na construção dos diagramas lógicos  
Fonte: Dettmer (2007)

**Entidade:** descrição de um elemento de uma situação. Uma entidade pode ser uma causa ou um efeito.

**Seta:** Ilustra a relação causa-efeito entre duas entidades. A entidade na extremidade pontiaguda da seta é o efeito e a entidade na extremidade oposta é a causa.

**Elipse:** Elemento de conexão "e" cujas entidades integradas numa elipse são causas suficientes para produzir o efeito particular.

**MAG:** Elemento de conexão "e" que indica a existência de causas independentes que, em simultâneo, aumentam a magnitude do efeito produzido.

**"OU":** Elemento que indica a exclusividade de uma causa para produzir o efeito. Outra possibilidade é uma causa originar dois efeitos, mas se um efeito acontece, o outro não.

**UDE:** Efeitos indesejáveis que impedem qualquer Sistema de alcançar o seu objetivo.

**Injeção:** Uma nova condição ou ação que não existe na realidade atual do Sistema e permite que o mesmo caminhe sempre em direção ao resultado desejado.

# CONSTRUÇÃO DOS DIAGRAMAS LÓGICOS

## TOC-TP

### Árvore de Objetivos (GT)

Para a construção da GT é necessário completar oito passos [77]:

1. Definir o Sistema (determinar os seus limites);
2. Determinar o principal objetivo do Sistema;
3. Determinar os Fatores Críticos de Sucesso (FCS) - *“quais são os 3 a 5 requisitos necessários para atingir o principal objetivo?”* ;
4. Determinar as Condições Necessárias (CN) - *“quais são as atividades necessárias para o alcance dos FCS (não mais do que 5 por FCS)?”*;
5. Organizar os componentes da árvore;
6. Conectar o objetivo, os FCS e as CN;
7. Verificar as relações lógicas entre os diferentes componentes;
8. Pedir escrutínio externo da árvore para validação.

### Árvore da Realidade Atual (CRT)

O processo de construção da CRT relaciona a existência dos UDE entre si, fornecendo uma visão geral, única e reveladora do Sistema e, conseqüentemente, da organização [86], [135]. Os dez passos para a construção da CRT são [77]:

1. Definir os limites do Sistema;
2. Determinar os efeitos indesejáveis (UDE);
3. Determinar os dois primeiros níveis de causalidade (associados a cada um dos UDE identificados);
4. Começar a CRT - descobrir ligações lógicas (relações causa-efeito) entre os UDE;
5. Examinar e melhorar a relação lógica das ligações estabelecidas entre os UDE (através da leitura de “baixo para cima” da árvore);
6. Identificar possíveis causas adicionais;
7. Procurar conexões laterais - após o desenvolvimento de todas as relações causa-efeito para cada UDE, é verificado se existem conexões entre as relações causa-efeito de um UDE com as de outro.
8. Construir a cadeia causa-efeito no sentido descendente;
9. Examinar a totalidade da CRT;
10. Decidir quais as causas-raiz a atacar.

Existem duas abordagens utilizadas para o desenvolvimento da CRT: a tradicional [77] e o método das três nuvens [157], [158]. Como referido, a abordagem tradicional é constituída por um processo de dez passos e as suas vantagens e desvantagens estão descritos no pequeno quadro abaixo.

Tabela C. 1 Vantagens e desvantagens da construção tradicional da CRT

Current Reality Tree (CRT)	
Abordagem Tradicional	
Vantagens	Apresenta mais detalhe
	Abordagem mais robusta
	Abordagem mais utilizada na aplicação dos TP da TOC
Desvantagens	A construção do diagrama requer muito tempo e atenção
	Difícil de comunicar a informação que está descrita no diagrama, devido ao nível de detalhe

O método das três nuvens é mais recente, tendo sido desenvolvido depois do tradicional - consiste na combinação de três CRDs num único que é utilizado como referência na CRT. Este método demonstra o *core problem* do Sistema em análise, descrevendo a relação entre os UDE observados e fornecendo uma visão geral do conflito subjacente, permitindo a construção de uma CRT mais simplificada e uma comunicação mais fácil da mesma. Na Tabela C.2 estão identificadas as suas vantagens e as suas desvantagens. Para construir o método das três nuvens é necessário [77], [105], [111]:

- Identificar um UDE do Sistema;
- Determinar a condição oposta - o efeito desejável oposto ao UDE identificado;
- Repetir este processo mais duas vezes para obter três UDE e os respetivos efeitos desejáveis. Os pares identificados tornam-se os pré-requisitos que estão em conflito em cada um dos Diagramas de Resolução de Conflitos.
- Construir um Diagrama de Conflitos genérico a partir dos três CRD individuais, identificando o principal conflito relacionado.
- Desenvolver a CRT iniciando no principal conflito - que será a principal causa subjacente a todos os efeitos indesejáveis do Sistema - determinado pela CRD genérica aproveitando a representação lógica e gráfica da mesma.

Tabela C. 2 Vantagens e desvantagens do método das três nuvens para construção da CRT

Current Reality Tree (CRT)	
Método das Três Nuvens	
Vantagens	Versão mais simplificada, fácil de comunicar.
	Construção do Diagrama mais intuitiva.
	Incentiva o desenvolvimento de soluções .
	Fornecer eficiência na aplicação das ferramentas TP da TOC.
Desvantagens	Processo incompleto, muito restritivo e não representativo dos maiores problemas do sistema.
	Põe em causa a qualidade lógica e da robustez.

## Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD)

Segundo Dettmer, existem três etapas principais para a resolução de um conflito e estas são completadas através de nove passos que permitem a construção do CRD [77], [108], [159]. As etapas e os diversos passos para o CRD estão descritos sucintamente no Quadro abaixo, Tabela C.3.

Tabela C. 3 Passos para a construção do CRD

As Etapas Principais	9 Passos para Construir a CRD
Construir a "Nuvem" (o Diagrama)	#1 Desenhar o esquema da "Nuvem" (Figura)
	#2 Definir (e articular) os dois pré-requisitos (D e D')
	#3 Identificar os requisitos, seguindo a lógica "Devemos fazer [Pré-requisito] para obter [Requisito]" (B e C)
	#4 Formular o Objetivo (A)
	#5 Examinar as premissas lógicas do diagrama (relações entre as diferentes entidades - Objetivo, Requisitos e Pré-requisitos) e fazer as correções necessárias
Expor os pressupostos subjacentes	#6 Desenvolver os pressupostos subjacentes que estão por detrás de cada ligação do diagrama
	#7 Avaliar a validade/invalidade dos pressupostos
Desenvolver potenciais ideais para resolver o conflito	#8 Criação de injeções (ideias para soluções) que favoreçam situações <i>win-win</i>
	#9 Selecionar as melhores injeções

Para assegurar o devido preenchimento das entidades e a lógica das premissas desenvolvidas, o Quadro (Tabela C.4) é considerado uma linha de orientação para a construção do CRD - apresentando a sequência [ideal] e as questões às quais cada entidade responder - de forma a obter uma estrutura lógica e válida [108].

Tabela C. 4 Questões-Guia para a construção do CRD

Entidade	Questão-Guia
D	Qual é a ação sobre a qual existe bastante pressão para ser realizada?
D'	Qual é a ação pela qual existe uma preferência na sua realização?
B	Qual é a necessidade que é satisfeita ao realizar a ação preferível D'?
C	Qual é a necessidade que é satisfeita pela ação forçada D?
A	Qual é o objetivo que comum que é alcançado caso B e C sejam cumpridas?

Goldratt defende que a melhor maneira verbalizar e, conseqüentemente, validar o CRD é lê-lo da esquerda para a direita - começando no Objetivo (A) até aos Pré-requisitos conflitantes (D e D'). Como o CRD utiliza a lógica de necessidade, as condições lêem-se da seguinte forma: "Para ter [...], devo ter [...]" e em vez de se ler na direção para que a seta está a pontar, lê-se na direção contrária pois o objetivo é averiguar o antecedente [77], [80].

## Árvore da Realidade Futura (FRT)

Os dez passos para a construção da FRT, são apresentados de seguida [77]:

1. Recolher toda a informação necessária (e.g., objetivo, FCS e CN, UDE e injeções);
2. Formular os efeitos desejáveis (DE);
3. Adicionar as injeções;

4. Completar o diagrama com injeções, entidades da CRT ou relações causa-efeito para melhorar a lógica da árvore;
5. Construir *loops* de reforço positivo;
6. Procurar “ramos” negativos;
7. Desenvolver os ramos negativos;
8. Descobrir como eliminar os ramos negativos;
9. Adicionar as injeções para eliminação dos ramos negativos na FRT;
10. Examinar a FRT por completo.

### **Árvore de Pré-requisitos (PRT)**

As etapas de construção da Árvore de Pré-requisitos [159] :

1. Explicitar a injeção de uma forma concisa e objetivamente;
2. Identificar os eventuais obstáculos que impeçam o alcance da injeção;
3. Para cada obstáculo, definir um objetivo intermédio (IO) – entidade que uma vez implementada irá eliminar o obstáculo;
4. Utilizando a lógica de condição necessária, construir o diagrama segundo a ordem em que devem ser implementados os IOs.

### **Árvore de Transição (TT)**

A construção da Árvore de Transição tem como base os cinco passos abaixo descritos [159]:

1. Identificar o objetivo e verbalizá-lo como uma entidade;
2. Escrever todas as ações necessárias para atingir o objetivo definido na ordem sequencial de implementação, i.e., a primeira ação a realizar fica no final do diagrama e a ação final no início do mesmo;
3. Para cada ação:
  - i. Verbalizar as condições apropriadas para a realização da ação seguinte;
  - ii. Verbalizar a necessidade de realizar a ação;
  - iii. Verbalizar o pressuposto de necessidade i.e., “*Porque é que a ação vai satisfazer a necessidade?*”
4. Examinar a validade das relações lógicas para cada ação;
5. Verificar a existência de ramos negativos e proceder às modificações necessárias para impedir consequências indesejáveis

### **Árvore PRT+TT**

Para a construção da Árvore PRT + TT é necessário seguir as seguintes etapas [77]:

1. Determinar o objetivo (e.g., uma injeção da FRT);
2. Identificar todos os objetivos intermédios (IO);
3. Refletir acerca de todos os possíveis Obstáculos;
4. Organizar as relações entre os IO e os Obstáculos;
5. Definir a sequência entre os IOs;
6. Fazer a ligação entre os diversos IOs;
7. Ultrapassar/eliminar os Obstáculos;
8. Integrar todos os ramos desenvolvidos;

9. Conectar o corpo principal da árvore (ramos integrados) ao objetivo;
10. Examinar a árvore por completo.

### Árvore de Estratégia&Tática (STT)

Para a construção da STT é necessário definir cada etapa S&T que é tão válida quanto os pressupostos em que se baseiam. A lógica da mudança, neste caso, é definida através de três pressupostos [82], [83], [87]:

- **Pressuposto de Necessidade (NA):** Este pressuposto é baseado na necessidade, o que significa que é algo que é necessário para atingir alguma outra coisa. Esta lógica pode ser lida da seguinte forma: *“Para alcançar o nível mais alto, devemos alcançar a etapa S&T abaixo por causa dos NAs listados na etapa abaixo”*. Neste caso, é uma afirmação que explica de que modo é que a estratégia (S) é necessária para alcançar o nível superior da árvore.
- **Pressuposto Paralelo (PA):** *“Os factos da vida”*. Uma declaração que pode ser lida da seguinte forma: *“Se P e PA, então a tática resultante é T”*. A S e T são paralelos ou uma combinação entre si.
- **Pressuposto de Suficiência (SA):** Pressuposto baseado na lógica da suficiência. Verifica se todos os componentes considerados são suficientes para garantir que o resultado desejado seja alcançado. No entanto, a única maneira de verificar a suficiência é através da realidade. Logo, apenas com a concretização das ações é que se saberá se as ações foram suficientes para atingir o objetivo.

Para a construção bem-sucedida da STT é necessário que cada etapa S&T responda às seguintes cinco questões, apresentadas na abaixo:

Tabela C. 5 Questões-guia para a construção da STT

Questões	
1.	Porque é que a mudança é realmente necessária para atingir o objetivo de nível superior? (Pressuposto Necessidade)
2.	Qual é o objetivo mensurável e específico para atingir a mudança? (Estratégia)
3.	Porque é que o objetivo é possível e porque é que a tática é a melhor, ou até mesmo a única, maneira de o atingir? (Pressuposto Paralelo)
4.	Qual é a melhor maneira de atingir o objetivo? (Tática)
5.	Que conselho ou advertência deve ser dada aos subordinados para garantir a suficiência da implementação proposta da mudança? (Pressuposto Suficiência)

# APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

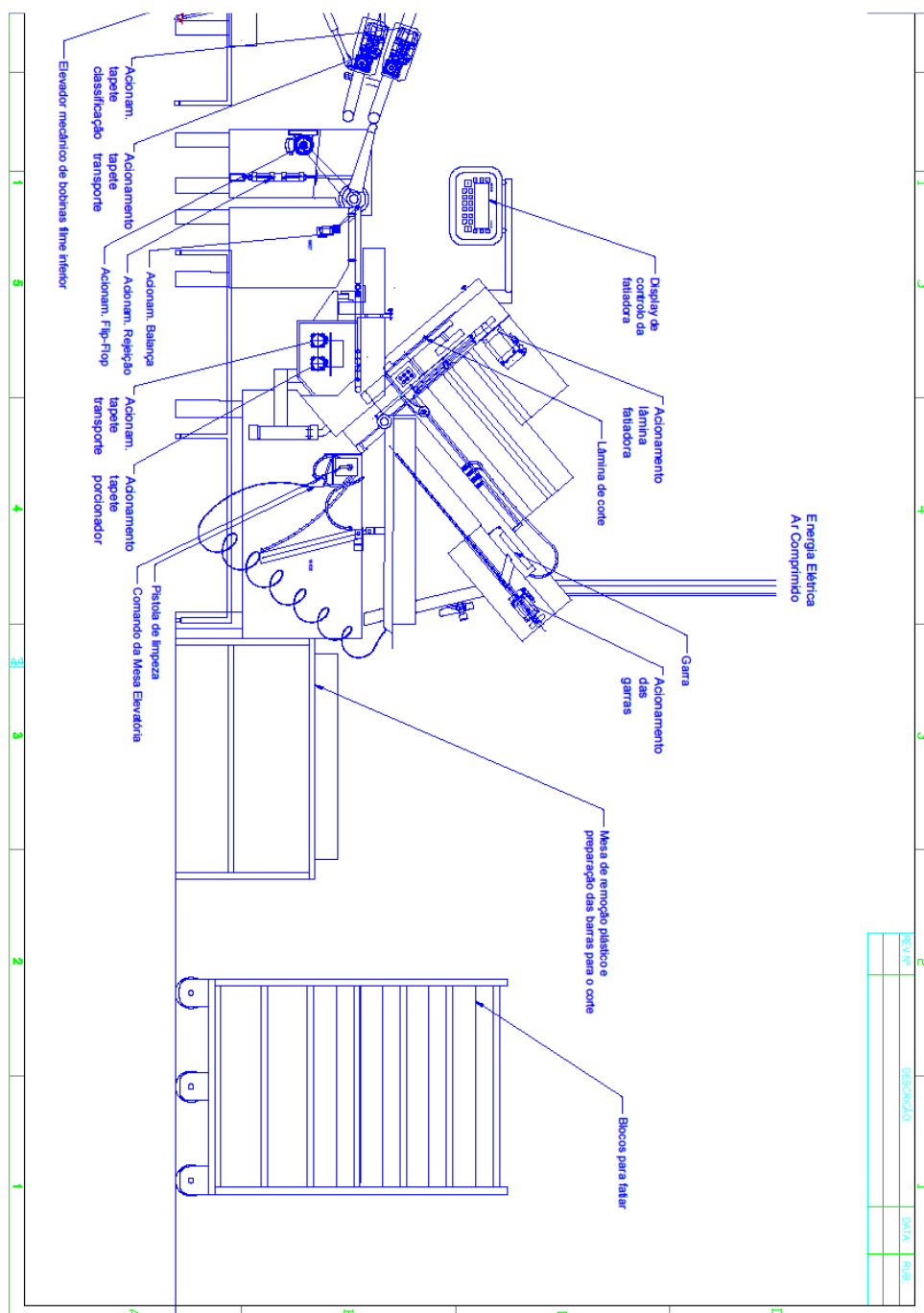


Figura D. 1 Desenho em CAD da Fatiadora da Linha 5



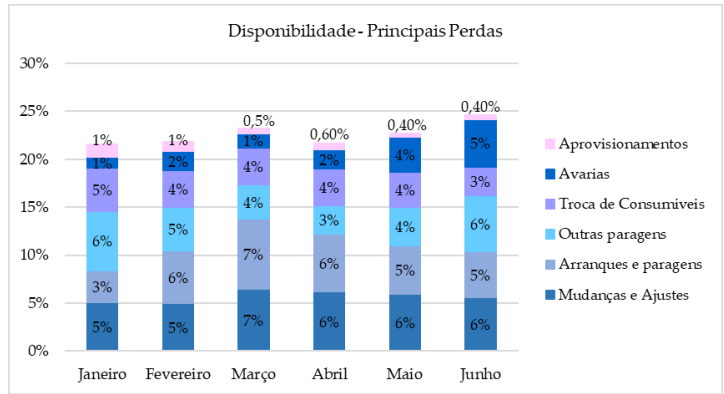


Figura D. 3 Principais perdas da Linha 5 relativas à Disponibilidade

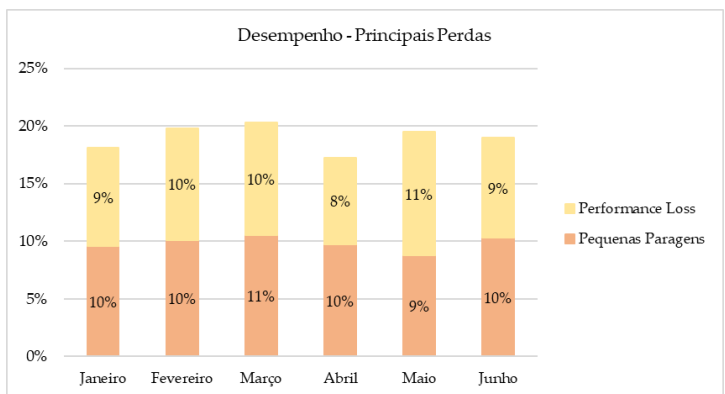


Figura D. 4 Principais perdas da Linha 5 relativas ao Desempenho

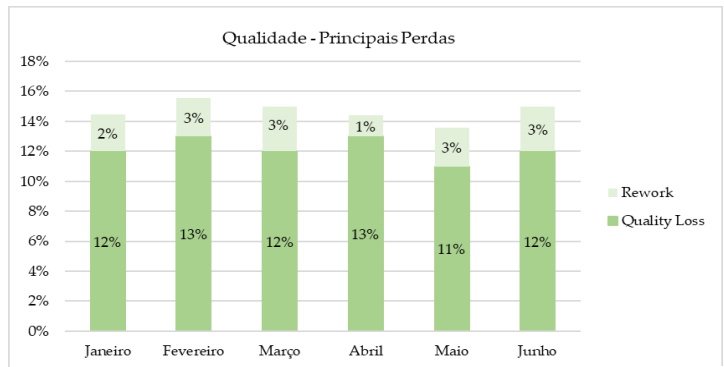


Figura D. 5 Principais perdas da Linha 5 relativas à Qualidade

## CASO DE ESTUDO - APLICAÇÃO DA TOC-TP

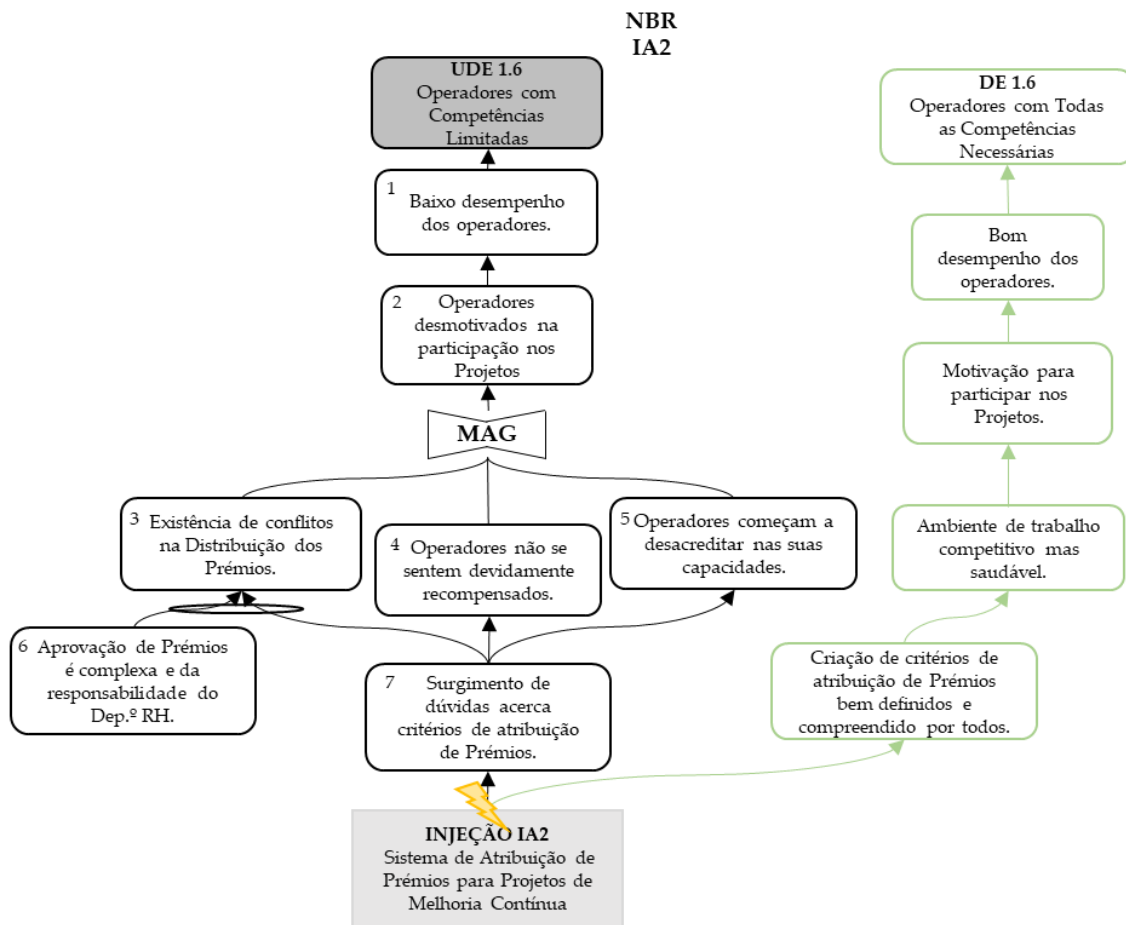


Figura E. 1 Efeitos negativos e positivos da injeção IA2

É possível observar o ponto (através do símbolo “relâmpago”) onde as novas injeções deverão ser introduzidas de modo a eliminar os efeitos negativos, ficando a restar somente o caminho de efeitos positivos até ao efeito desejável (DE).

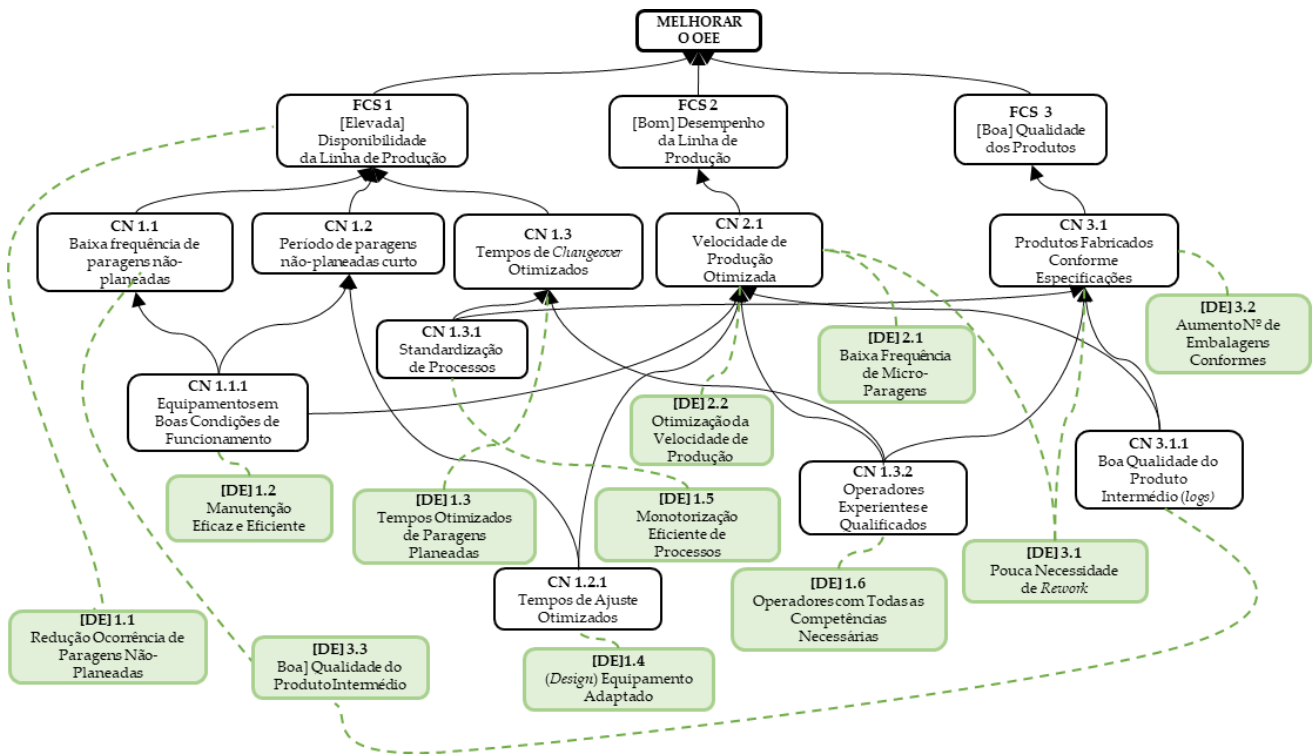


Figura E. 2 Árvore de Objetivos do Sistema e a sua relação com os DEs

Tabela E. 2 Injeções *extra* para eliminar as restantes CRC identificadas

Nº Injeção	Descrição	Implementação?	
		Sim	Não
<b>(212) Linha Não Sincronizada</b>			
I212a	Aplicar o <i>Turtle Project</i> na Linha 5 (Garantir a sincronização da linha)	x	
I212b	Simulação da Linha ( <i>software</i> como Arena ou Flexsim)		x
<b>(325) Reduzida Fiabilidade entre Fornecedores de Materiais de Embalagem</b>			
I325a	Estabelecimento de novos Requisitos para o material de embalagem (e.g., filme superior com espaço para a impressão da Data de Validade e Identificação do Produto)	x	
I325b	Avaliação e Priorização dos Fornecedores de Material de Embalagem	x	
<b>(335) Débeis Condições Standard de Estabilização de Temp.<sup>a</sup> do Produto</b>			
I335a	Túnel de frio em contínuo		x
I335b	Garantir o bom funcionamento de armários de frio	x	
I335c	Sistema <i>Pull</i> no Armazenamento (e.g., Não enviar um carro completo porque o ultimo log vai esperar 40min e fica mole)	x	
<b>(338) Reduzida Fiabilidade entre Fornecedores de Matéria Cárnea</b>			
I338	Avaliação e Priorização dos Fornecedores de Matéria Cárnea	x	

Tabela E. 1 Injeções "adições lógicas" para a produção dos DEs

Nº Injeção	Descrição	Implementação?	
		Sim	Não
<b>(DE 1.3) Tempos de Paragens Planeadas Otimizados</b>			
IE1	Implementar SMEDs para mudanças mais demoradas	x	
<b>(DE 1.5) Monitorização/Supervisão Eficiente de Processos</b>			
IE2	Supervisores de Linha com menor carga de tarefas administrativas	x	
<b>(DE 3.2) Aumento do N° de Embalagens Conformes Processadas</b>			
IE3.1	Implementar SMEDs para Mudanças com maior desperdício de filme	x	
IE3.2	Estabelecer N° mínimo de embalagens processadas em vazio por mudança	x	
IE3.3	Estabelecer N° mínimo de embalagens processadas em vazio por produto	x	
<b>(UDE 1.4) Design Limitador do Equipamento</b>			
IE. UDE	Tentar Arranjar Instrumentos para Adaptar o Equipamento às Necessidades dos Operadores	x	

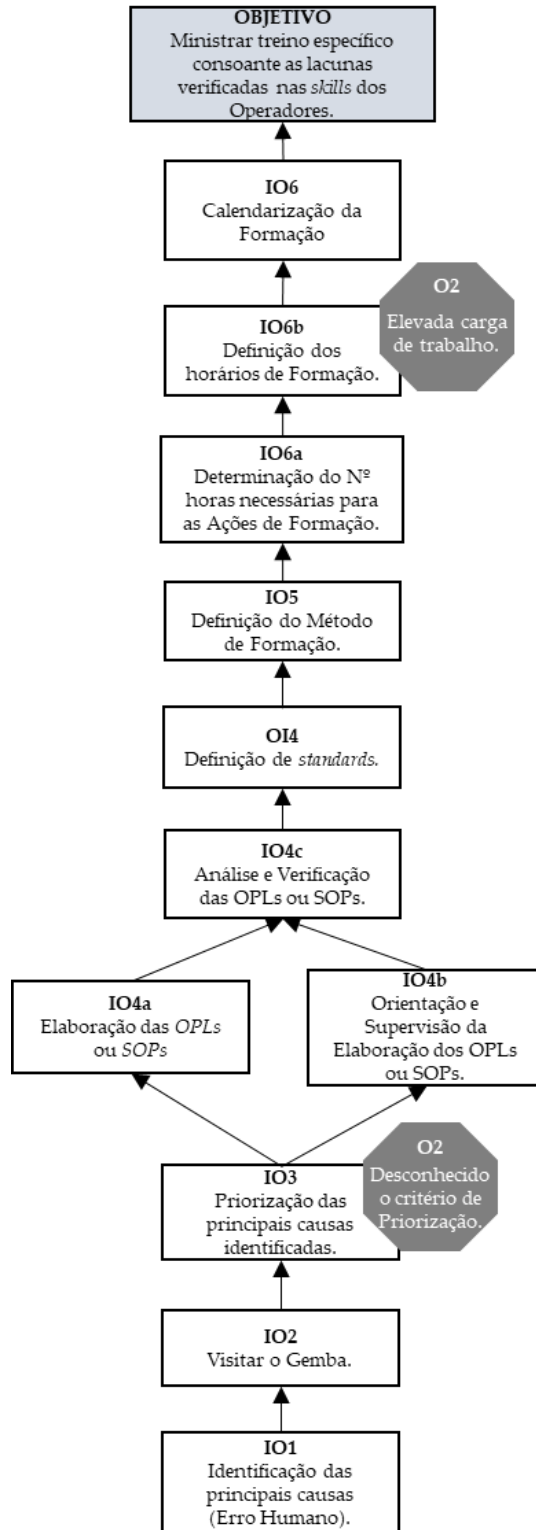


Figura E. 3 PRT inicial

A Matriz (Figura E.4) permite estruturar e clarificar a função que cada departamento tem no desenvolvimento do Projeto, bem como a classificação de macro-atividades. Para o presente Caso de Estudo, as diferentes entidades envolvidas podem desempenhar até três funções:

- Líder (L) : Responsável por realizar e completar a atividade.
- Apoiante (A) : Contribui para a realização da atividade. “Participante” ativo na atividade.
- Informado (I) : Receber atualizações acerca do progresso da atividade e as decisões tomadas.

#	Atividades / Entidades	Engenharia Industrial	TPM	Produção (Fábricas)	Manutenção	Planejamento da Produção
<b>A' Identificação e Priorização das Principais Causas</b>						
a1	Identificação das principais causas (erro humano) que afetam o OEE da Linha	L				
a2	Visita ao Cembá (Observação e análise das causas no ambiente de produção)	L				
a3	Utilizar a Matriz Esforço-Benefício	L				
a4	Priorizar as principais causas identificadas	L	I			
-	Validação					
<b>B' Definição de Standards</b>						
B1	Elaboração de OPLs e SOPs	I	L	I	I	
B2	Orientação e Supervisão na Elaboração das OPLs e SOPs			A	L	
B3	Verificação e análise das OPLs e SOPs		I	L	A	
-	Validação					
<b>C' Definição do Método de Formação</b>						
C'	Escolha do Método de Formação	I	I	L	A	
-	Validação					
<b>D' Calendarização da Formação</b>						
d1	Determinação do Nº horas necessárias para a Formação			L	A	I
d2	Comunicação clara e constante com o Planejamento da Produção		I	L		A
D2	Definição do Horário de Formação	I	I	A		L
-	Validação					

Figura E. 4 Matriz de Responsabilidades

# PLANEAMENTO DAS AÇÕES DE MELHORIA



Figura F. 1 Janela de visualização do software ProChain da calendarização do Projeto de Formação

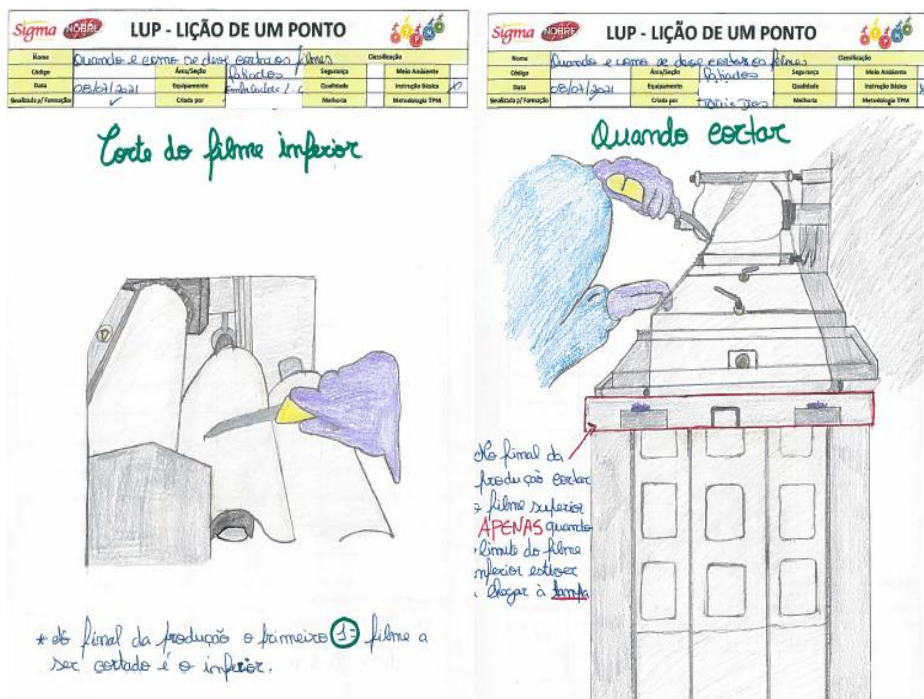


Figura F. 2 Exemplos de OPLs  
Fonte: Documentação Nobre Alimentação, Lda.







2021

CONSTANÇA LOURINHO ISIDRO  
MONTEIRO FERNANDES

APLICAÇÃO DOS *THINKING PROCESSES* DA TEORIA DAS  
RESTRICÇÕES À MELHORIA DO DESEMPENHO GLOBAL DE  
EQUIPAMENTOS (OEE)