

**Aplicação de MFCA e métodos *LEAN* para o diagnóstico e melhoria de sistema produtivo no setor metalomecânico –
Proposta de uma abordagem simplificada**

João Vasco Mestre Correia Gonçalves

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientadores: Prof. Paulo Miguel Nogueira Peças

Eng. Diogo Pina Jorge

Júri

Presidente: Prof. Rui Manuel dos Santos Oliveira Baptista

Orientador: Prof. Paulo Miguel Nogueira Peças

Vogais: Prof. Inês Esteves Ribeiro

Prof. Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera

Novembro 2019

Agradecimentos

Na realização da presente dissertação contei com o apoio direto ou indireto de inúmeras pessoas e instituições às quais quero demonstrar a minha profunda gratidão. Não querendo correr o risco de injustamente não mencionar algum dos contributos, quero deixar expresso os meus agradecimentos:

Ao meu orientador o Professor Paulo Peças por toda a paciência, disponibilidade e transmissão de conhecimentos ao longo de toda a tese, sempre com boa disposição e vontade de ajudar.

Ao Engenheiro Diogo Jorge pelo apoio prestado na elaboração deste trabalho e pela sua orientação na integração na entidade de estágio.

Agradeço à empresa que me acolheu e possibilitou a realização deste trabalho, bem como a troca de impressões relativamente à atividade metalomecânica que me foram extremamente úteis. A todos os colaboradores que demonstraram sempre simpatia e disponibilidade para ajudar.

Não podia deixar de agradecer à equipa Erising: Bruno, Helena e Margarida por todos os conselhos, incentivos e partilha de conhecimentos que me ajudaram e estimularam a realizar um melhor trabalho.

Aos meus Pais pelo apoio económico, força, paciência e compreensão durante esta longa jornada que agora termina.

Ao meu padrinho pelo constante incentivo, partilha de experiências e conhecimentos e especialmente por nunca me ter permitido desistir.

Um especial agradecimento à minha namorada Rita por ter estado do meu lado, pela sua paciência, compreensão e dedicação durante estes meses, sem o seu apoio teria sido impossível.

A todos os amigos e colegas que direta ou indiretamente auxiliaram e contribuíram para a elaboração desta dissertação. Saliento o apoio, companheirismo e força que prestaram a Catarina, o César, a Francisca e o Tiago, o meu mais sincero agradecimento.

A todos o meu profundo obrigado!

Resumo

Atualmente, a pressão para produzir produtos de qualidade com baixo custo de produção e reduzidas quantidades de desperdício, está a aumentar na indústria. Quando as empresas são confrontadas com esta nova realidade surge a necessidade de encontrar soluções que possibilitem a redução do impacto ambiental das suas atividades, a par com a melhoria de eficiência e eficácia do sistema de produção.

O *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) é um método que analisa os fluxos de material em quantidades físicas e monetárias do sistema de produção. Os resultados são diferenciados em custo de produção relativamente ao produto final e ao desperdício, o que permite às empresas avaliar com precisão o seu desempenho económico e ambiental. Por sua vez, a utilização de ferramentas *Lean* permite avaliar a eficiência e eficácia operacional do sistema de produção, com foco nos desperdícios operacionais ocorridos durante a produção. A aplicação destas ferramentas possibilita a implementação de medidas de melhoria do atual sistema de produção. Os conceitos MFCA e *Lean* têm como objetivo a identificação e eliminação de fontes de desperdício o que permite às empresas avaliar e reduzir monetária e fisicamente os desperdícios.

A presente dissertação focou-se na análise de viabilidade da aplicação do método MFCA associado a ferramentas *Lean* focadas na identificação e eliminação de desperdícios como ferramenta de diagnóstico. Da análise resultou uma proposta de abordagem simplificada que interliga as características do MFCA às das ferramentas *Lean*. A associação do MFCA a conceitos *Lean* é possível devido à complementaridade dos métodos e o objetivo que ambas partilham: a eliminação de desperdícios.

Com o propósito de alcançar os objetivos acima descritos, primeiramente elaborou-se uma revisão bibliográfica sobre os aspetos complementares e estudos desenvolvidos através da combinação do MFCA a conceitos da filosofia *Lean*. Posteriormente uma primeira análise MFCA-*Lean* é aplicada num caso de estudo integrando um sistema produtivo do setor da metalomecânica. A aplicação do MFCA associado a ferramentas *Lean* permitiu o reconhecimento dos benefícios e limitações relacionados com a combinação destas ferramentas num só diagnóstico. A partir dessa aplicação resultou uma análise completa, onde foram analisados: os custos de produção distinguidos em custos associados ao produto e ao desperdício, as ineficiências e ineficácias das atividades do sistema operacional e ainda os seus custos associados. Esta análise permite identificar de forma rigorosa os problemas existentes no sistema de produção, bem como a sua origem, possibilitando uma proposta e avaliação de melhorias. Contudo este diagnóstico implica uma extensa recolha de informação o que torna a análise exigente e morosa

Num diagnóstico MFCA-*Lean* baseado nos resultados alcançados e as limitações encontradas, é apresentada uma metodologia que integra os dois conceitos através de uma abordagem simplificada com o foco numa aplicação mais rápida, mas que permita ainda identificar os principais desperdícios e problemas do sistema de produção. Posteriormente esta metodologia é aplicada a um novo caso de estudo.

Em suma o estudo apresentado permitiu o desenvolvimento de uma abordagem de diagnóstico que permite a integração do MFCA com ferramentas *Lean*, de forma simplificada. Uma vez que esta não é uma análise completa, os resultados obtidos têm uma qualidade e detalhe inferior. No entanto, permite avaliar de forma superficial o sistema de produção, resultando na identificação das principais fontes de desperdícios e dos problemas produtivos. A aplicação da metodologia em conjunto com a implementação de medidas de melhoria de forma continuada aproxima-se progressivamente de um estado produtivo ideal.

Palavras-Chave: *Material Flow Cost Accounting, Lean, Gestão da produção, Melhoria continua, Setor metalomecânica*

Abstract

Currently, the pressure to produce quality products with lower production cost and reduced amounts of waste is increasing in the industry. When companies are challenged with this new reality, arises the need to find solutions that allow the reduction of the environmental impact of their activities, along with the improvement of efficiency and effectiveness of the production system.

Material Flow Cost Accounting (MFCA) is a method that evaluates material flows in physical and monetary quantities of the production system. The results of production cost are differentiated in costs of final product and waste, which allows companies to accurately assess their economic and environmental performance. The use of Lean tools allows for an evaluation of the efficiency and operational effectiveness of the production system, focusing on operational waste that occurred during production. The application of these tools enables for an implementation of measures to improve the current production system. The concepts MFCA and Lean aim to identify and eliminate sources of waste, which allows companies to evaluate and to reduce physical waste and monetarily losses.

This dissertation focused in the analysis of the application of the MFCA method associated with Lean tools concentrated on the identification and elimination of waste as a diagnostic tool. The analysis resulted in a proposal for a simplified approach that connects the characteristics of the MFCA with of lean tools. The association of MFCA with Lean concepts is possible due to the complementarity of the methods and the objective that both share: the elimination of waste.

In order to achieve the objectives listed above, a bibliographic review of complementary aspects and studies through the combination of MFCA with Lean philosophy concepts was first elaborated. Subsequently, a first MFCA-Lean analysis is applied to a productive system in the metalworking sector. The application of MFCA associated with Lean tools allowed the recognition of benefits and limitations related to the combination of these tools in a single diagnosis. From this application resulted a complete analysis, where the production costs were distinguished in costs allocated on the product and waste also, were analyzed the inefficiencies and ineffectiveness of operating system activities and the costs associated. This analysis allows to rigorously identify the problems existing in the production system, as well as its origin, enabling a proposal and evaluation of improvements.

In a MFCA-Lean diagnosis based on the results achieved and the limitations found, a methodology is presented that integrates the two concepts through a simplified approach with the focus on a faster application, that also allows the identification of waste and production system problems. Later this methodology is applied to a new case study.

In conclusion, the study presented allowed for a development of a proposal of methodology that allows the integration of MFCA with Lean tools in a simplified way. Since this is not a complete analysis, the results obtained have a lower quality and detail. However, it allows to superficially evaluate the production system, resulting in the identification of the main sources of waste and productive problems.

The application of the methodology together with the implementation of continuous improvement procedures is gradually close to an ideal productive state.

Keywords: Material Flow Cost Accounting, Lean manufacturing tools, Production Management, Continuous improvement, Metalworking industry

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo	iv
Abstract.....	vi
Índice	viii
Índice de figuras	xi
Índice de tabelas	xiii
Nomenclatura	xiv
1. Introdução.....	1
2. Revisão bibliográfica.....	3
2.1. Material Flow Cost Accounting	3
2.1.1. <i>História e desenvolvimento do MFCA</i>	3
2.1.2. <i>Princípios e fundamentos do MFCA</i>	4
2.1.3. <i>Metodologia e aplicação do MFCA</i>	6
2.1.4. <i>MFCA vs Contabilidade tradicional</i>	11
2.2. Ferramentas de diagnóstico e conceitos Lean	11
2.2.1. <i>Muda, Mura e Muri</i>	12
2.2.2. <i>PDCA-Plan Do Check Act</i>	13
2.2.3. <i>Produção Pull</i>	14
2.2.4. <i>5Whys</i>	14
2.2.5. <i>5 S's</i>	14
2.2.6. <i>Diagrama Yamazumi</i>	15
2.2.7. <i>Diagrama Esparguete</i>	15
2.3. Atividade recente da combinação das ferramentas MFCA e Lean	16
3. Abordagem ao caso de estudo e diagnósticos.....	18
3.1. Descrição da empresa e caracterização das atividades da empresa, Produto e Fluxo de produção.....	19
3.1.1. <i>Atividades da empresa e estratégia de produção</i>	20
3.1.2. <i>Produto</i>	21
3.1.3. <i>Fluxo de produção</i>	22
3.2. Procedimentos de diagnóstico	24
3.2.1. <i>MFCA</i>	24
3.2.2. <i>Introdução dos conceitos e envolvimento da empresa</i>	24
3.2.3. <i>Definição dos limites da análise</i>	24

3.2.4.	<i>Quantificação do fluxo mássico e monetário</i>	26
3.2.5.	<i>Tratamento de dados e aplicação do método de cálculo</i>	31
3.3.	Diagnóstico MFCA.....	32
3.3.1.	<i>Análise de dados e resultados MFCA</i>	32
3.3.2.	<i>Identificação de problemas</i>	39
3.3.3.	<i>Conclusões da análise MFCA</i>	40
3.4.	Diagnóstico utilizando ferramentas Lean	41
3.4.1.	<i>Análise Visual</i>	41
3.4.2.	<i>Entrevistas informais</i>	42
3.4.3.	<i>Estudo dos tempos</i>	42
3.4.4.	<i>Mapeamento da Cadeia de Valor (VSM)</i>	43
3.5.	Diagnóstico segundo as métricas Lean e gestão visual	44
3.5.1.	<i>Análise de dados e resultados Lean</i>	44
3.5.2.	<i>Identificação de problemas</i>	49
3.5.3.	<i>Conclusões da análise Lean</i>	51
3.6.	Conclusões da utilização simultânea de um diagnóstico MFCA-Lean	52
3.7.	Soluções e estimativa de melhoria para problemas identificados	55
4.	Diagnóstico quick-MFCA-Lean	57
4.1.	Abordagem de diagnóstico quick-MFCA-Lean	57
4.1.1.	<i>Definição de objetivos e limites da análise</i>	58
4.1.2.	<i>Aplicação da abordagem e recolha de dados</i>	59
4.1.3.	<i>Mapeamento de processos e construção do modelo contabilístico e de desempenho</i> 61	
4.1.4.	<i>Análise e exposição de resultados e aplicação de ferramentas Lean</i>	63
4.2.	Aplicação da abordagem quick-MFCA-Lean a um caso de estudo	66
4.2.1.	<i>Definição de objetivos e limites da análise</i>	66
4.2.2.	<i>Caracterização do produto e sistema de produção</i>	67
4.2.3.	<i>Quantificação e recolha de dados</i>	68
4.2.4.	<i>Tratamento e análise de dados</i>	71
4.2.5.	<i>Conclusões da análise</i>	77
5.	Conclusão	81
6.	Trabalho futuro.....	83
7.	Referências.....	84
8.	Anexos	I
8.1.	Anexo-A – Quantificação de material utilizado durante o caso de estudo.....	I
8.2.	Anexo-B - Contabilização dos custos de material e de sistema.	I

8.3. Anexo-C – Matriz de custo em cada QC.....	III
8.4. Anexo D – Diagrama do sistema de produção de uma obra vigamento pesado segundo a lógica VSM.....	V

Índice de figuras

Figura 1-MFCA- Modelo de fluxo mássico segundo a norma ISO14051 [4]	5
Figura 2-Ciclo Plan-Do-Check-Act de implementação do MFCA segundo a norma [4]	7
Figura 3-Custos gerais num QC segundo a norma ISO14051 [4]	9
Figura 4-Polos de produção da empresa	20
Figura 5- Distribuição das atividades na empresa	20
Figura 6-Exemplos de produtos - "guardas industriais"	22
Figura 7-Fluxo de produção	22
Figura 8-Componentes do produto final	25
Figura 9- Fluxo mássico produtivo	26
Figura 10-Exemplo de output de corte de chapa através da utilização da ferramenta Cutting optimization pro.....	27
<i>Figura 11-Fluxo mássico</i>	33
<i>Figura 12-Fluxo de custo obtido através do modelo de cálculo do MFCA</i>	34
<i>Figura 13-Cost breakdown</i>	35
<i>Figura 14-Custos de sistema associados a cada QC</i>	36
<i>Figura 15-Mapa da valorização de material</i>	36
<i>Figura 16-Contribuição de cada parâmetro para o acréscimo de valor ao produto em cada QC</i>	37
<i>Figura 17-Contribuição de cada parâmetro para o valor de desperdício em cada QC</i>	38
<i>Figura 18-Esquemática da aplicação da ferramenta 5 Whys para determinação das causas raiz dos problemas encontrados no diagnóstico MFCA</i>	40
Figura 19-Characterização das operações segundo a metodologia SID AV-Valor acrescentado, NVA N-Sem valor acrescentado necessário, NVA- Sem valor acrescentado.....	42
<i>Figura 20-Lead time Guardas Industriais</i>	44
<i>Figura 21-VSM simplificado da produção do sistema de produção observado</i>	45
<i>Figura 22-Diagrama esparguete da movimentação do colaborador do posto de preparação</i>	47
<i>Figura 23-Yamazumi do sistema de produção</i>	48
<i>Figura 24-Esquemática da aplicação da ferramenta 5 Whys para determinação das causas raiz dos problemas encontrados no diagnóstico Lean</i>	50
Figura 25-Exemplo de um VSM obtido através da aplicação da metodologia	63

Figura 26- Exemplo de dashboard obtido através da aplicação da metodologia quick-MFCA-Lean...	65
Figura 27-Vigamento pesado	67
Figura 28-Sistema de produção vigamento pesado	68
Figura 29-Modelo de fluxo mássico vigamento pesado	69
Figura 30-Mapeamento do fluxo de custos obtido através do método de cálculo	73
Figura 31-Fluxo mássico vigamento pesado.....	73
Figura 32- Contribuição dos diferentes parâmetros para o custo total em cada QC.....	74
Figura 33-Estratificação dos custos de sistema por QC	75
Figura 34- Mapa de valorização de produto.....	75
Figura 35-Desempenho de cada QC	76
Figura 36-Obras em espera no chão de fábrica.....	77

Índice de tabelas

Tabela 1-Tipos e definições de muda [19], [20].....	13
Tabela 2-Valores estimados de custo energético em cada QC	29
Tabela 3-Custo de colaborador por hora em cada QC	30
Tabela 4 Matriz de custo para os QCs de corte	32
<i>Tabela 5-Utilização de material</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 6-Contribuição de cada QC para o custo total de produção</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 7-Diferenciação de custos</i>	<i>40</i>
Tabela 8- Definição de operações segundo a metodologia SID	43
<i>Tabela 9-Indicadores de performance VSM.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 10-Tempos absolutos distribuídos por tarefas de cada QC</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 11-Número de esperas entre postos</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 12-Problemas e causas raiz</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 13-Custo associado ao tipo de tarefas produtivas</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 14- Vantagens e Limitações da utilização dos diferentes métodos</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 15- Vantagens e Limitações de um diagnóstico MFCA-Lean</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 16-Síntese de problemas encontrados e possíveis melhorias.....</i>	<i>55</i>
Tabela 17-Exemplos de tipo de dados retirados de um sistema de produção e sua obtenção.....	61
Tabela 18-Exemplo de uma matriz de custo e performance associada a um QC	62
Tabela 19 - Exemplos de Problemas e ferramentas Lean aplicáveis	66
Tabela 20-Síntese de problemas identificados e causas raiz	79

Nomenclatura

PME – Pequenas Médias Empresas

MFCA – Material Flow Cost Accounting

QC – Quantity Center

EMS – Environmental Management System

PDCA – Plan-Do-Check-Act

GP – Green Production

VSM – Value Stream Mapping

EMA – Environmental Management Accounting

CNC – Controlo numérico computadorizado

MTO – Make-To-Order

SID – Sistema de indicadores de desempenho

AV – Added Value

NAV – Non-Added Value

NAV N – Non-Added Value Need

qMFCA-Lean – Quick-MFCA-*Lean*

1. Introdução

Atualmente o meio ambiente é um tema que gera crescente preocupação não apenas no cidadão comum como também, nas empresas que procuram manter a sua competitividade, simultaneamente com uma diminuição da sua pegada ecológica. Esta questão adquire maior relevância junto das Pequenas e Médias Empresas (PME) uma vez que, economicamente os seus recursos são diminutos quando comparados com a realidade das grandes empresas. Assim, cabe às empresas a melhoria dos processos de produção que visem a minimização dos desperdícios considerando que, estes podem ter elevados custos associados, o que conseqüentemente aumenta os custos da produção.

Existem vários métodos disponíveis que permitem avaliar o estado atual do sistema de produção possibilitando a criação de condições de implementação de medidas e controlo de melhoria.

O *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) é um método contabilístico que permite às empresas reconhecer as quantidades físicas de material desperdiçadas durante a produção revelando os custos associados a essas quantidades de desperdício. Este método oferece às empresas a possibilidade de identificarem as fontes de desperdício de material capacitando-as de informações úteis, promovendo assim, a melhoria de forma a reduzir os custos e as quantidades consumidas durante a produção. O MFCA pode ser utilizado como método de diagnóstico, contudo não permite às empresas ter conhecimento total do seu sistema produtivo, a capacidade de avaliação de eficiência em cada posto fica assim limitada. Este método tem a capacidade de avaliar as fontes de desperdício que possam ocorrer durante a produção, focando-se apenas nas fontes de desperdício de material.

Através do pensamento *Lean* e da aplicação de ferramentas que sigam a sua filosofia, é possível identificar outras formas de desperdício, irregularidades ou sobrecargas produtivas que causam estrangimentos no sistema produtivo. A capacidade de avaliação através da aplicação destas ferramentas permite enriquecer as empresas de conhecimento relativamente a outros tipos de desperdício que ocorrem na produção. Contudo estas ferramentas não relacionam estes desperdícios com os custos associados, o que não permite ter uma avaliação total do seu sistema produtivo.

A complementaridade na aplicação do MFCA associado a ferramentas *Lean* permite interligar as capacidades dos dois diagnósticos, capacitando assim as empresas de obterem um diagnóstico completo que avalie a globalidade do seu sistema produtivo. Esta avaliação permite analisar um maior número de fontes de desperdício e as suas possíveis causas, relacionando-os com os custos associados. Esta avaliação permite obter resultados de qualidade que revelam a realidade económica e operacional de todo o sistema produtivo, no entanto a união destas técnicas e a sua aplicação é morosa e exigente o que dificulta o processo de replicação e implementação de melhoria.

A elaboração desta dissertação tem como objetivo propor e analisar a viabilidade de uma metodologia que integre as duas técnicas através de uma abordagem simplificada, de aplicação mais rápida. Se por um lado, existe perda de rigor e detalhe nos resultados obtidos, a sua aplicação pode não incapacitar

a análise de identificar os principais problemas, e fontes de desperdício do sistema de produção. Portanto, esta dissertação pretende contribuir para aumentar o conhecimento sobre a pertinência da metodologia proposta.

O desenvolvimento da dissertação inicia-se com uma revisão bibliográfica, situada no capítulo 2 acerca do método MFCA, a sua história, princípios e fundamentos e a sua metodologia de aplicação. De seguida, realizou-se uma pesquisa relacionada com as ferramentas de diagnóstico através de conceitos *Lean* e por último, um estudo acerca da complementaridade do método MFCA à filosofia *Lean*.

No capítulo 3 apresenta-se a metodologia aplicada a um diagnóstico seguindo a metodologia MFCA baseada na norma ISO 14051 que visa quantificação das quantidades de produto e de desperdícios, relacionando-os com os custos gerados durante a produção. Identificaram-se as limitações e benefícios desta análise e em simultâneo relacionaram-se com as limitações e benefícios de uma análise com recurso a ferramentas *Lean*. Ainda neste capítulo realizou-se um diagnóstico MFCA-*Lean*, aplicado a um caso de estudo real. A partir deste diagnóstico verificaram-se benefícios e limitações da sua utilização, concluindo-se que a utilização dos dois métodos em simultâneo, enriquece os conhecimentos sobre o sistema operativo em análise e ainda permite obter melhorias significativas quando comparado com cada método individualmente. Esta análise pode ter uma duração alargada pois, requer um acompanhamento permanente da produção, o que origina um maior esforço relacionado com a duração da análise que pode alongar-se dias ou meses, elevando o seu grau de complexidade. A partir da análise MFCA-*Lean* foi identificado um conjunto de *outputs* úteis para a caracterização do estado atual da produção. Neste capítulo são ainda evidenciados os resultados obtidos durante a realização do diagnóstico. É ainda apresentado um breve conjunto de soluções relativamente a problemas identificados, assim como uma estimativa de impacto das soluções numa eventual aplicação.

No capítulo 4 apresenta-se o desenvolvimento da metodologia de diagnóstico simplificada e rápida quando comparada com uma análise MFCA-*Lean*. A metodologia proposta é focada na complementaridade do método MFCA combinado com ferramentas *Lean*. São ainda exibidos os resultados da aplicação da metodologia simplificada a um caso de estudo inserido num contexto industrial. A partir dos resultados obtidos neste diagnóstico foram identificados os principais problemas e fatores condicionantes da eficiência e eficácia, permitindo o planeamento de implementação de ações de melhoria nessas áreas. Embora este método não permita obter informação tão detalhada e precisa quanto a análise MFCA-*Lean* completa, este diagnóstico fornece indicações úteis para iniciar o processo de mudança, mesmo sem a profundidade e rigor resultantes da aplicação completa do método MFCA e de um diagnóstico através da utilização de ferramentas *Lean*.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Material Flow Cost Accounting

Desde a massificação da indústria que as empresas estão sujeitas a uma grande competitividade, são constantemente colocadas à prova, surgindo a cada dia um novo desafio. Nos dias de hoje a preocupação incide sobre o meio ambiente e a utilização insustentável dos recursos do planeta. O MFCA vem auxiliar a gestão das empresas, de forma a atingirem os objetivos a que se propõem, cumprindo metas ambientais e económicas com sucesso. Este método está a ser vastamente sugerido por vários autores, como uma das principais ferramentas que permitem às empresas tomarem decisões de implementação com um impacto económico e ambiental positivo [1].

O MFCA é uma ferramenta que não considera apenas a vertente contabilística, mas também a vertente do fluxo mássico. Este método baseia-se principalmente no conceito de balanço de massa, e é assente em leis fundamentais da termodinâmica. Segundo estas em qualquer processo o material ou energia não pode ser criado ou perdido, mas sim transformado. De acordo com estas leis e segundo a vertente industrial, a quantidade de matéria que entra será igual à que sai, sob forma de produto ou de desperdício [2]. O MFCA permite fazer um mapeamento do fluxo e dos stocks de material ao longo do processo, através desse mapeamento é possível fazer o cálculo dos custos e para isso é necessário multiplicar a quantidade pelo preço unitário por unidade física [3], [4].

O MFCA representa uma comparação de custos entre produto e desperdício, permitindo a melhoria da eficiência na utilização dos recursos materiais e energéticos. Uma vez que os custos com o desperdício ficam visíveis, é possível ao gestor reajustar a estratégia da empresa. A prontidão da aplicação da estratégia significará uma maior redução de recursos desperdiçados, e conseqüentemente uma redução de custos em toda a produção, pois os recursos utilizados serão também reduzidos, permitindo assim o cumprimento dos objetivos a que a empresa se propõe [5].

2.1.1. História e desenvolvimento do MFCA

O MFCA surge com a necessidade de dar resposta às mudanças impostas pelo sistema de proteção ambiental. O MFCA teve origem num projeto de gestão ambiental realizado numa empresa têxtil no sul da Alemanha no final da década de 80 [2].

O conceito MFCA evoluiu no fim da década de 90, baseado no trabalho desenvolvido no Instituto Alemão para a Gestão Ambiental (*Institut für Management und Umwelt*) [6]. Esta evolução impulsionou projetos piloto na indústria alemã [7]. No entanto, foi no Japão que o primeiro grande impulso deste método surgiu com a sua implementação em inúmeras empresas nacionais. O sucesso desta ferramenta foi de tal forma expressivo e positivo que o Ministério da Economia, do Comércio e da Indústria (METI) incentivou a continuidade da aplicação do método, corria o ano 2000. O impacto da

aplicação do MFCA obteve resultados tão expressivamente positivos ao longo do seu desenvolvimento que ainda hoje, esta metodologia é aplicada e os seus efeitos são continuamente satisfatórios [7], [8].

Em 2007 com o objetivo de auxiliar as empresas na aplicação do método, foi desenvolvida a ISO14000 no Japão, de forma a *standardizar* o seu conceito geral e *framework*, para que esta ferramenta esteja ao alcance de todo o tipo de indústria independentemente da sua dimensão [7], [8]. Em 2011 a versão final e atualizada desta norma foi publicada com a designação de ISO14051 [8], [9].

Apesar do MFCA ter sido originalmente pensado para ser aplicado a indústrias com processos únicos, esta ferramenta pode também ser aplicada a indústrias com múltiplos processos, tendo sido já comprovada através de variados casos de sucesso. De forma a suplantir lacunas e problemas do método está em desenvolvimento desde 2014, uma nova norma que será publicada como ISO14052 [8].

2.1.2.Princípios e fundamentos do MFCA

A aplicação do MFCA tem um grande impacto nos níveis financeiro e ambiental no mundo empresarial pois, promove a transparência da utilização do material e de recursos energéticos na cadeia produtiva [4].

Esta ferramenta tem a capacidade de medir o fluxo mássico ao longo do processo de produção em unidades físicas ou monetárias com o auxílio do conceito de balanço de massa. O único requisito deste método é a utilização de materiais e energia ao longo do seu processo de produção [4]. O MFCA estabelece uma comparação entre os custos relacionados com o produto positivo (material que compõe o produto final) e com o produto negativo (desperdício), a sua aplicabilidade é autónoma ao tipo de sistema de produção da empresa [10].

Durante a aplicação do MFCA é feita uma divisão de todo o sistema de produção em *Quantity Centers* (QC). Os QC são os locais onde ocorre a transformação e/ou armazenamento de material. Nestes locais existe *input* e *output* de material, estes devem ser quantificados em medidas físicas e posteriormente convertidos em unidades monetárias. Em suma, é no QC que ocorrem as medições dos recursos utilizados e onde é possível fazer um rácio entre produto positivo e desperdício [4], [7], [11], [12].

Após a medição dos recursos utilizados em cada QC é possível desenhar um fluxo de produção com as informações recolhidas. Este fluxo irá conter informações de material e de energia para cada QC. Em cada fração irá haver uma fonte de entrada e duas saídas divididas entre produto positivo e desperdício. Esta divisão é obtida através do cálculo com base na alocação de material inicialmente estabelecida [4], [13].

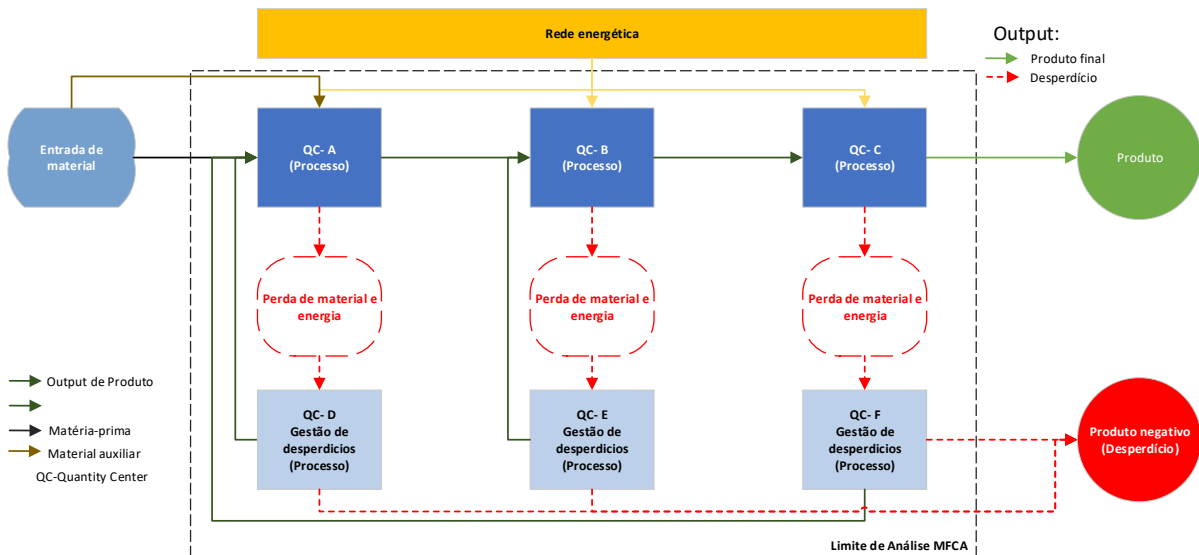


Figura 1-MFCA- Modelo de fluxo mássico segundo a norma ISO14051 [4]

O mapa de fluxo (Figura 1) possibilita o reconhecimento das fases onde ocorrem maiores desperdícios de material, energia e o valor associado ao desperdício. Através exibição do valor é possível verificar falhas de eficiência do processo e identificar a fase onde ocorre maior desperdício. Desta forma é permitido ao gestor reestruturar a estratégia e/ou funcionamento do respectivo QC [7], [6].

Como anteriormente referido o MFCA é baseado na Lei da conservação de massa e energia. Com este conceito presente, deve ser feito um balanço individual a cada QC que posteriormente será validado com um balanço geral de todo o sistema de produção. É importante que este balanço tenha em consideração o material que entra no sistema, o material que sai sob a forma de produto positivo ou desperdício, e ainda as flutuações do stock. Este balanço é uma especificação para uma correta utilização do MFCA e é calculado através da equação (1) [4], [14]:

$$Input_{material} = Output_{Desperdício} + Output_{produto\ positivo} + \Delta stock \quad (1)$$

Através do mapeamento do fluxo é possível verificar que o MFCA divide o *output* em [7]:

- Material positivo - Fluxo mássico que deve fazer parte do produto final;
- Material negativo - Fluxo mássico não desejado e que não faz parte do produto final, contribuindo para o desperdício.

Dentro das possibilidades de material negativo encontram-se os [4], [11], [12]:

- Materiais auxiliares: solventes de limpeza, lubrificantes;
- Produtos defeituosos e não conformes;
- Material retido em Stock;
- Matéria prima ou material auxiliar que permaneça no equipamento de produção após a sua conclusão.

A procura pela melhoria da utilização de recursos estimula a evolução de planos de ação para diminuir os desperdícios indesejados. A redução de desperdícios leva a uma diminuição de entrada de material, o que se traduz num impacto económico e ambiental positivo bem como, o aumento da produtividade da empresa e da sua capacidade competitiva.

Em suma, a implementação do MFCA prevê uma vasta e precisa recolha de dados que resulta numa possível melhoria económica para empresa e ainda podem assentar futuros projetos de melhoria através da implementação de soluções [5], [10] e [14].

2.1.3. Metodologia e aplicação do MFCA

Qualquer que seja a área de produção, a implementação do MFCA a uma empresa requer o seguimento de várias etapas e estas necessitam da interligação dos vários departamentos da empresa [11]. A informação do processo de produção, a dimensão da empresa, e outros fatores estão diretamente relacionados com a qualidade e complexidade da análise bem como, o nível de detalhe das informações recolhidas. Esta ferramenta poderá ser utilizada em empresas com ou sem o *Sistema de Gestão Ambiental (EMS)*, espera-se que as empresas que possuam o EMS previamente instalado, facilitarão a implementação do MFCA [4], [11].

A aplicação da ferramenta pressupõe um procedimento com etapas previamente definidas e que devem ser respeitadas para que a aplicação seja bem-sucedida. É fundamental que as empresas possuam um conhecimento prévio destas etapas e dos conceitos do método [11]. As decisões tomadas pelas empresas regem-se essencialmente por questões económicas, assim o MFCA é uma ferramenta que responde a esta questão através do cálculo do impacto financeiro dos desperdícios, revelando-se uma ferramenta com utilidade no momento de tomadas de decisão [4], [10]. Caso a empresa possua previamente um sistema EMS, o ciclo de *Deming* ou PDCA do MFCA poderá ser envolvido em diferentes fases do ciclo PDCA do EMS, promovendo assim vantagens na utilização desta ferramenta. A Figura 2 representa as etapas de implementação do MFCA, de forma resumida em concordância com o ciclo PDCA, segundo a norma ISO14051[4].

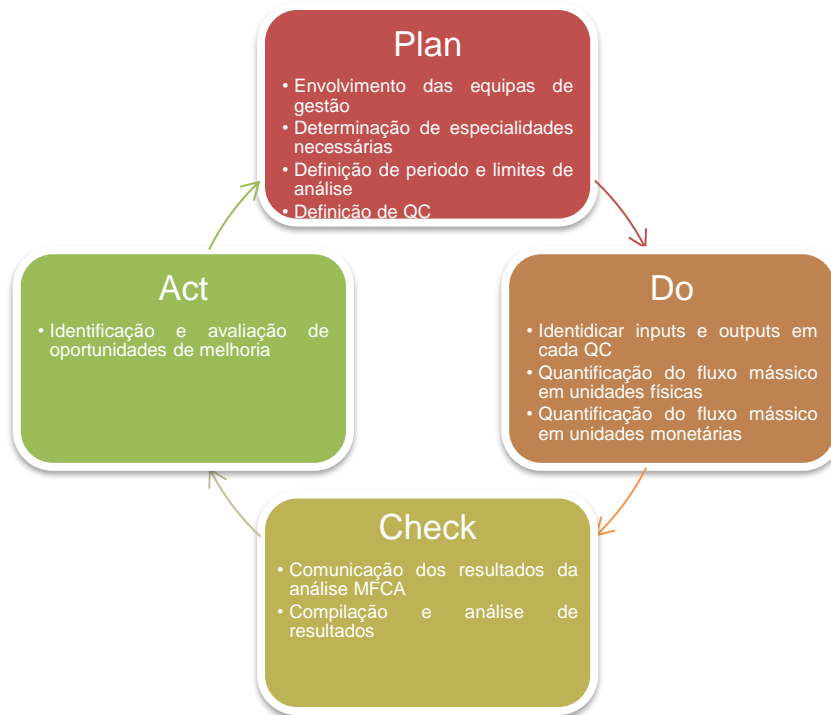


Figura 2-Ciclo Plan-Do-Check-Act de implementação do MFCA segundo a norma [4]

Etapa de Planeamento (*plan*):

A eficácia da aplicação do MFCA está diretamente dependente do auxílio que a gestão da empresa fornece, por isso, este organismo deve compreender totalmente a aplicação, vantagens e o valor deste método [4].

É importante definir quais as áreas do conhecimento decisivas para a aplicação do método. Em primeiro lugar, o MFCA pressupõe um vasto conhecimento desta metodologia e partilha de informação pelos múltiplos departamentos presentes nas empresas [4].

Assim, deve realizar-se a determinação dos limites da aplicação do método bem como, o período de análise. A análise pode abranger um processo único, ou vários processos sequenciais ou toda a cadeia de valor. É recomendável que nas primeiras implementações do método seja selecionado um processo ou variados processos ou ainda, um produto que tenha uma implicação económica e ambiental significativa para a empresa [4], [11].

Quando a definição dos limites, o período de análise e recolha dos dados é definido, este deve ser longo o suficiente para admitir alterações relevantes do processo, viabilizando uma vasta recolha de dados. Este período de análise depende do tipo de processo de produção selecionado. Assim, o período de recolha pode ser adaptado ao tempo de um lote de produção ou a um período previamente selecionado [4].

Depois do período de análise são definidos os QC, unidades teóricas de cálculo do MFCA. Os QC devem ser selecionados criteriosamente, caso contrário é possível que existam informações importantes relativamente à localização de perdas de material e de energia bem como, os seus valores

que se tornarão inexatos. Por oposição, se os QC forem definidos com excesso de exatidão a compilação e tratamento de dados do MFCA tornar-se-á demasiado complexa. Por isso, antes de dar continuidade ao processo é recomendável efetuar uma análise a nível global do sistema para avaliar a autenticação dos QC estabelecidos [11].

Etapa de execução (do):

Primeiramente devem ser determinados os *inputs* e *outputs* de cada QC sendo que comumente, os *inputs* são a matéria-prima, os materiais operacionais e a energia, e os *outputs* são produtos conformes e perdas de material. A componente energética estará agregada em termos monetários ao material que provém do *output*. O valor de energia pode ser estimado de forma independente ou incluído no produto e no desperdício respetivamente, sendo que esta é uma opção exclusiva da empresa [4].

De seguida, para cada QC os fluxos de *input* e *output* devem ser quantificados em unidades físicas como massa, comprimento, volume, número de peças, dependendo do material Figura 3. A quantificação dos fluxos deve ser convertida numa unidade *standartizada* para efetuar o balanço de massa. Este balanço requer que a quantidade total de *outputs* seja igual a totalidade de *inputs*, considerando qualquer alteração do stock do QC. Preferencialmente dentro dos limites da análise do MFCA, todos os materiais devem ser quantificados, no entanto, os materiais que têm um reduzido impacto financeiro ou ambiental podem ser omitidos por decisão da empresa [4] e [11].

Após a contabilização das unidades físicas deverá ser efetuada a conversão das unidades monetárias relativamente ao valor de material, energia, sistema e gestão de resíduos [4] e [11].

Valor material: O valor dos materiais essenciais, operacionais e/ou auxiliares. Este custo é calculado através da multiplicação da quantidade física do material específico pelo valor físico desse mesmo material durante o período de observação [4], [7] e [11].

Valor de energia: Traduz-se no valor de energia utilizado em cada QC. O procedimento recomendado para o cálculo deste valor é através da medição do consumo, diretamente do equipamento e de seguida multiplicando-o pelo valor unitário [3], [4]. No entanto, quando a energia consumida num QC é difícil de medir, o valor de energia deverá ser calculado para todo o processo de produção e, em seguida, deve ser selecionado um critério apropriado para alocar este valor a cada QC [4] e [11].

Valor de sistema: Valor atribuído a cada QC relacionado com a tarefa que nele se desenvolve, como por exemplo, custo de mão de obra, custo de operação, transporte, manutenção. São considerados todos os custos de serviço excetuando custos com material, energia e gestão de resíduos. Quando um custo de sistema não é facilmente quantificado deverá ser seguido um critério de alocação anteriormente definido para cada QC [4], [11].

Valor de gestão de resíduos: Valor associado ao tratamento de desperdícios gerado no QC. Este tipo de custo é totalmente atribuído ao *output* de desperdício de materiais [4], [11].

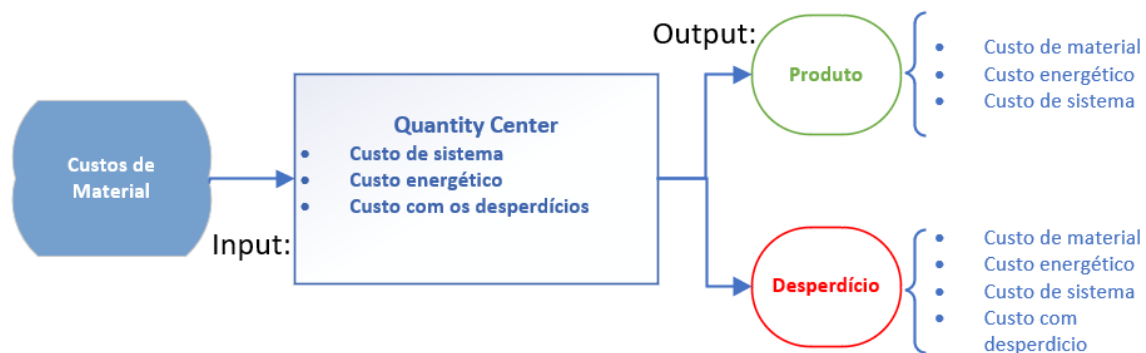


Figura 3-Custos gerais num QC segundo a norma ISO14051 [4]

O MFCA diferencia os custos diretos dos custos indiretos como por exemplo, os custos administrativos e os custos estruturais. Estes devem ser alocados pelo critério mais apropriado. A norma ISO14051 sugere que o procedimento de alocação destes custos siga duas etapas: primeiro os custos devem ser alocados ao QC a que estão relacionados – Alocação de valor a diferentes QC. De seguida, os *outputs* devem ser alocados através do critério mais adequado – Alocação do valor interno do QC em produto ou desperdício [2] e [3].

Como anteriormente mencionado, o MFCA auxilia as empresas em vários níveis através de análises ao desempenho económico de forma a colaborar com a empresa em momentos de tomada de decisão. Deve ser criado um modelo de cálculo construído pela empresa, considerando todos os princípios e fundamentos anteriormente referidos sobre a metodologia MFCA. Segundo a norma devem ser seguidas as seguintes etapas [4], [11], [12]:

1. Cálculo do valor de material;
2. Cálculo dos custos energéticos de sistema e de gestão de desperdício e a sua alocação;
3. Apresentação e análise integral de custos.

A apresentação de resultados obtidos através da análise MFCA permite identificar os QC com maiores desperdícios, e que apresentam algum significado económico. A partir destes resultados é possível à empresa tomar uma série de decisões de forma apoiada que, visem melhorar a eficiência dos recursos utilizados, assim como o desempenho económico da mesma. O modelo de cálculo poderá ainda prever os benefícios futuros destas decisões [4].

As melhorias resultantes de uma análise MFCA podem ser divididas em três níveis distintos. Não existindo qualquer procedimento para enfrentar os problemas típicos que surgem com o MFCA apenas algumas sugestões [11]:

- Gestão da produção – O MFCA permite converter unidades físicas de produção em custos, tornando visíveis os resultados obtidos;

- Melhorias nos departamentos de produção – As ineficiências indicadas através da análise MFCA anteriormente realizada podem originar melhorias no *design* do processo ou indicar a necessidade de substituição de equipamento. O custo de sistema de produção pode ser estimado pelo MFCA;
- Etapas de desenvolvimento de um novo produto – O MFCA permite a visibilidade do impacto dos custos por processo, sendo uma ferramenta eficaz para avaliar os custos ainda durante a fase de planeamento.

Análise de reprocesso – Processo de Reciclagem

Devido à constante necessidade de atingir processos de produção com a menor quantidade de material perdido, as empresas tendem a incluir nas suas empresas áreas ou postos a fim de promoverem correções e reciclagem. Este tipo de processo segundo o MFCA é considerado como um *loop* interno de material. Do ponto de vista económico e ambiental pode ser visto como uma medida positiva pois, permite uma redução do consumo de matéria prima devido a uma redução de material desperdiçado. Contudo, é importante salientar que apesar da diminuição dos custos com o material, isto não significa que não existam custos adicionais agregados à reciclagem do mesmo [7].

Para os QC que apresentem *loop* interno deve ser seguida uma das possíveis soluções de forma a obter uma correta análise [7]:

1. Calcular o custo total de todos os fluxos de material – Com recurso a um sistema de equações lineares, são calculadas todas as despesas relacionadas com o fluxo mássico. Este cálculo inclui o custo relacionado com a matéria-prima que irá ser substituída pelo material reciclado;
2. Considerar apenas o custo adicionado com o *loop* de material – Esta solução considera exclusivamente os custos adicionados ao *loop*, uma vez que os custos de material serão constantes e permanecerão como parte integrante ao produto final;
3. Reportar o custo gerado no *loop* separadamente – Esta solução foca-se no custo do *loop* independentemente do efeito monetário que representa a utilização ineficiente da utilização do material.

As duas primeiras soluções adjudicam os custos do *loop* ao *output* como um custo do produto final, desconsiderando que estes custos são uma consequência do tratamento de materiais indesejáveis. De forma a tornar visível as ineficiências do uso de material, sugere-se a extração e apresentação dos custos do *loop* de material como um custo adicional e independente [7].

Contudo a terceira solução pode entrar em conflito com a metodologia do MFCA, uma vez que não avalia o custo do ponto de vista de unidade física. Apenas considera o fluxo do *loop* de material através do impacto económico, identificando desta forma, as ineficiências da utilização de recursos. Expondo assim os custos reais com o desperdício – principal objetivo do MFCA [7].

2.1.4.MFCA vs Contabilidade tradicional

De forma a alcançar o sucesso pretendido e de forma consistente ao implementar o MFCA na empresa, é necessário ajustar esta ferramenta a outros métodos já existentes. O MFCA é baseado em novas ideias, novas visões de gestão e novas formas de tratar a informação recolhida, o que pode gerar conflito com os métodos de contabilidade tradicionais, por isso é importante entender as diferenças entre ambos [16].

A ferramenta MFCA foi idealizada como um método que ao ser aplicado, permite obter uma avaliação que admita uma reformulação do sistema de produção com foco na melhoria e na eficiência dos recursos disponíveis [7].

A principal diferença entre os dois métodos recai sobre a forma de tratamento dos custos de desperdício de material e as ineficiências são tratadas. De acordo com o método convencional todos os custos quer de material quer de processo estão alocados ao produto, sem qualquer diferenciação entre produto e desperdício. Desta forma o método tradicional apesar de ter formas de identificar os desperdícios em termos unitários, não tem forma de saber os desperdícios monetários, contrariamente ao MFCA. O MFCA permite fazer uma diferenciação entre desperdício ou material perdido e produto, e de acordo com esta ferramenta é ainda possível distinguir custos de material ou de produção. Sendo que nos custos de produção inserem-se custos energéticos de serviço e de gestão de desperdício [4].

O MFCA identifica todo o material que constitua o produto como desperdício, e torna visível todos os custos relevantes desse mesmo desperdício. Esta é a principal característica desta ferramenta e que o que a distingue dos métodos mais convencionais [3] e [9].

Concluindo, o MFCA permite que as empresas identifiquem áreas ou formas de reduzir os impactos ambientais, reduzindo o consumo de recursos e diminuindo a produção de desperdício, algo que o método contabilístico tradicional não prevê [4].

2.2. Ferramentas de diagnóstico e conceitos Lean

A produção que segue os princípios e ideologias *Lean* tem como principal objetivo satisfazer o cliente e produzir produtos com valor acrescentado através de processos com o mínimo desperdício. Na filosofia *Lean* o controlo e garantia de qualidade, a melhoria contínua e uma relação entre os colaboradores que tenha como base o respeito mútuo são aspetos fundamentais [18].

De acordo com os autores Womack e Jones [17] os cinco conceitos da produção *Lean* que simplificam a aplicação desta produção e de forma intuitiva nos diversos tipos de indústria são:

- Identificação de valor – Identificar quais os requisitos que o cliente exige e pelos quais concorda pagar;
- Identificação do fluxo de valor – Distinguir quais as ações que acrescentam valor ao produto e quais não acrescentam qualquer valor;
- Definição de fluxo – Tornar a produção sequencial e objetiva de forma a eliminar desperdícios;

- Produção Pull – Produzir consoante a procura;
- Procura pela perfeição – Procura contínua pela redução de desperdícios e consequentemente reduzir os recursos utilizados, tempo e custos.

2.2.1. Muda, Mura e Muri

Um dos grandes objetivos da filosofia *Lean* é a redução do desperdício. Os termos Muda, Mura e Muri conhecidos como os 3M's descrevem, em conjunto, atividades que geram desperdício e que devem ser eliminados. Os 3M's têm origem japonesa mas podem ser traduzidos como Muda-desperdício, Mura-irregularidade, Muri-sobrecarga [17].

Muda significa desperdício, e é considerado desperdício qualquer atividade humana que não acrescente qualquer valor ao produto.

Segundo Taiichi Ohno [18] os *muda* podem ser divididos em sete tipos:

1. Sobreprodução;
2. Movimentação;
3. Transporte;
4. Defeitos ou retrabalho;
5. Excesso de processamento;
6. Espera;
7. Inventário.

Mais tarde de acordo com Mark Eaton em [19] foi acrescentado outro tipo de *muda*:

8. Talento.

Para além dos tipos de *muda* referidos anteriormente, existe também uma divisão entre *muda* necessário (tarefa sem valor acrescentado, mas necessário) e *muda* que não representa quaisquer vantagens para a empresa (tarefa sem valor acrescentado). O primeiro tipo deve restringir-se ao fundamental e indispensável enquanto que o segundo deve ser suprimido. Na seguinte Tabela 1 estão descritos os tipos e respetivas definições dos diferentes MUDA's.

Tabela 1-Tipos e definições de muda [18], [19]

Tipos de MUDA	Definição
Sobreprodução	Produção superior ao necessário, ou com demasiada antecedência. (Não existe escoamento do produto, originando acumulação de stock)
Movimentação	Más estratégias de planeamento ou um layout mal estruturado traduzem-se num excesso de movimentações dispensáveis dos operadores.
Transporte	Transporte de matéria prima ou de produto que não significa uma valorização do produto.
Defeitos ou retrabalho	Todo o tipo de componentes que apresentem defeitos ou que sofram qualquer tipo de retrabalho para corrigir um erro.
Excesso de processamento	Qualquer operação que não acrescente valor ao produto, do ponto de vista do cliente.
Espera	Tempo não produtivo devido à falta de disponibilidade de máquinas, pessoas ou matéria prima.
Inventário	Acumulação de stocks de matéria prima ou de produtos - Origina custos de manutenção ou de conservação, assim como diminuição de área disponível.
Talento	Quando um operador com determinadas características é colocado a desempenhar uma função em que estas não sejam aproveitadas.

Mura é originado pelas flutuações que possam ocorrer no sistema produção, ou por mudanças de ritmo das diferentes atividades da produção, provocando momentos de grande esforço para os colaboradores e consecutivamente momentos de espera. Este tipo de irregularidades pode muitas vezes ser controlada ou eliminada através de uma melhor gestão e planeamento de produção [20].

Muri significa sobrecarga de recursos, exigindo um maior esforço e um ritmo mais intenso de produção, por um maior período do que aquele que conseguem suportar [20].

2.2.2.PDCA-Plan Do Check Act

Um dos focos principais da filosofia *Lean* é a redução de desperdício, otimizando os recursos utilizados através de um conjunto de processos que visam a melhoria contínua, caracterizada pela identificação e remoção de constrangimentos que estão presentes no sistema de produção atual, e que não farão parte de um estado ideal [21]. Esta ferramenta encontra-se integrada pela norma ISO 14051 na metodologia MFCA [4].

O PDCA ou também conhecido como *Deming Wheel* foi desenvolvido por Deming na década de 50. É uma ferramenta de gestão que procura sucessivamente a melhoria contínua da empresa [21]. Este método permite conhecer o estado atual da empresa de uma forma completa o que permite identificar a solução de forma clara. É aplicada a processos de forma a alcançar os objetivos das empresas, e é composto por 4 etapas [21]:

1. **Plan** (etapa de planeamento): Etapa onde é feita uma análise da situação atual, onde se estabelecem os objetivos, e é definido o método para os alcançar;
2. **Do** (etapa de execução): Etapa de desenvolvimento ou implementação do plano que foi definido na etapa anterior;

3. **Check** (etapa de verificação): Etapa de verificação do novo estado, e averiguar se os objetivos planeados na primeira etapa foram cumpridos;
4. **Act** (etapa de ajuste): Etapa de ajuste em que são tomadas medidas retificativas, de forma a corrigir se os resultados obtidos forem distintos aos pretendidos. Caso o objetivo seja cumprido é feita uma consolidação da solução e do método encontrado.

2.2.3. Produção Pull

A produção baseada num sistema de produção *pull* é regida pelas necessidades de produção em função das especificações e requisitos do cliente e do mercado. O objetivo é assegurar uma produção *Lean*. Uma vez que a filosofia *Lean* foca-se na redução de desperdícios, sejam eles do tipo material ou temporal, este conceito permite obter uma cadeia produtiva mais fluída o que é leva a redução destes desperdícios.

O sistema de produção *pull* é uma técnica *lean* que consiste em reduzir os desperdícios de qualquer processo de produção. Aplicar um sistema *pull* permite às empresas iniciarem a produção de um produto apenas quando um cliente o requisite. Este tipo de produção dá oportunidade às empresas de reduzir a sobreprodução, otimizando o processo de produção e consequentemente minimizar os custos envolvidos [20].

Vantagens de uma produção *pull*:

- Produção de quantidades exatas;
- Baixas quantidades de inventários;
- Diminuição de custos de inventário;
- Redução do desperdício;
- Melhor comunicação entre departamento/processos;
- Gestão Visual.

2.2.4. 5Whys

Os 5 porquês ou *5whys* é uma ferramenta de diagnóstico útil para detetar a origem do problema. *5whys* foi criado por Sakichi Toyoda, fundador das indústrias *Toyota*, e incluída por Taichi Ohno no livro de standards da TPS. Este método consiste em repetir a questão “porquê?” de forma a ir aprofundando o conhecimento sobre a causa do problema [18].

2.2.5. 5 S's

Os 5 S's são uma ferramenta *Lean* utilizada durante a implementação de soluções, com o objetivo de criar uma área de trabalho limpa e organizada a fim de facilitar uma melhor gestão visual e práticas *Lean*. Trata-se de uma ferramenta de reajuste de *layout* do posto, no chão de fábrica que permite eliminar e/ou reduzir desperdícios de tempo, como por exemplo movimentações desnecessárias ou a procura de utensílios de trabalho [22].

As 5 atividades são:

- **Seiri** (utilização) – Distinção dos utensílios necessários do posto de trabalho, removendo os que são desnecessários;
- **Seiton** (organização) – Organização dos utensílios para a simplificar a sua utilização;
- **Seiso** (limpeza) – Limpeza do posto;
- **Seiketsu** (padronização) – Manutenção regular da organização do posto de trabalho conforme planeado;
- **Shitsuke** (disciplina) – Criação de hábitos de execução dos 4 S's anteriores.

2.2.6. Diagrama Yamazumi

O diagrama Yamazumi é uma ferramenta de auxílio à gestão visual que tem como principal objetivo a avaliação de desempenho de processos. Através deste diagrama é possível identificar os tempos das operações de forma particular e global relativamente ao tempo produtivo. É ainda praticável distinguir as operações que enquanto tarefas:

- Acrescentam valor ao produto;
- Não acrescentam, mas são necessárias;
- Não acrescentam qualquer valor.

Em geral este tipo de *output* visual permite verificar o estado de produção, indicando os postos onde existe ineficiência relativamente aos recursos utilizados, ou mais especificamente o tempo utilizado com as tarefas realizadas durante o período produtivo.

2.2.7. Diagrama Esparguete

O diagrama Esparguete é uma técnica útil do ponto de vista da gestão visual, pois possibilita o acompanhamento de todos os movimentos do operador ou da componente ao longo do processo de produção, através de um mapeamento das linhas de fluxo num mapa ou planta de fábrica. Esta ferramenta possibilita [23]:

- Identificar movimentações desnecessárias e de transporte;
- Distâncias percorridas;
- Número de deslocações.

Através desta análise é possível concluir se existem ineficiências no posto ou na área de trabalho, o que pode indicar por exemplo um mau *design* de *layout*. É ainda possível analisar quais os movimentos que mais contribuem para baixas eficiências do processo de produção [23].

2.3. Atividade recente da combinação das ferramentas MFCA e Lean

Os desperdícios que provêm da produção podem ser em elevadas quantidades, no entanto não são apenas relacionados com o material mas também com os recursos de sistema [8] e [24]. Em muitas indústrias os custos de sistema e de produção podem ter um custo de investimento avultado, especialmente em indústrias de produção de massa [15].

Contudo a aplicação do MFCA com ferramentas *Lean* é ainda muito limitada [24]. Recentemente as definições sustentabilidade, produção sustentável e *Green Production (GP)* receberam um apoio efetivo por parte do governo tailandês. A GP tem sido definida como uma estratégia que visa aumentar a otimização de recursos de forma a minimizar os desperdícios, desta forma alcança-se uma produção com preocupação ambiental através do desenvolvimento sustentável e socioeconómico. Este aprimoramento consiste na aplicação de ferramentas, técnicas e tecnologias de produção, de forma a reduzir o impacto ambiental das atividades, produtos e serviços das empresas. O MFCA pode ser considerado uma ferramenta de melhoria de GP, o que resulta em inúmeras vantagens para as empresas, como por exemplo uma diminuição dos recursos materiais utilizados. Para estas organizações a integração dos conceitos *Lean* e *MFCA* no seu sistema de produção terá efeitos benéficos, uma vez que pode auxiliar na melhoria da produtividade, eficiência de recursos e redução de custos, bem como o impacto ambiental [24].

Os artigos [25-27] sugerem que a implementação do MFCA e conceitos *Lean* deve ser assente em três etapas fundamentais:

- Identificar e eliminar as tarefas sem valor acrescentado, através do conceito de desperdícios *Muda* examinando rigorosamente a situação atual de cada processo;
- Utilizar a ferramenta *Visual Stream Mapping (VSM)* em conjunto com o modelo de fluxo de material – técnica presente no MFCA que visa determinar a eficiência e o impacto ambiental de cada processo presente no fluxo;
- Melhorar o sistema, fluxo contínuo e material para maximizar a eficiência e reduzir assim o impacto ambiental.

A implementação acima referida foi aplicada num caso-estudo *Pajama manufacturing company* [24] e num caso-estudo relacionado com a indústria alimentar: *A case study of Universal Food Public* [26]. Esta aplicação comprovou ser possível articular e incorporar os conceitos *Lean* e as ferramentas MFCA à indústria têxtil e alimentar. Através do método contabilístico do MFCA foram experimentadas, implementadas e por fim avaliadas soluções de melhoria. De acordo com os resultados o programa de minimização de desperdício foi bem-sucedido em dois processos de fabrico distintos. A melhoria nestas operações traduziu-se numa diminuição de proporção de custos com o desperdício.

As vantagens da integração do *Lean* ao MFCA relacionam-se com a análise completa sobre os desperdícios de materiais, energia e recursos das empresas. Estas considerações são essenciais para

o melhoramento da GP pois, atende-se ao desperdício de uma forma distinta do desperdício tradicional que se resume ao desperdício material. O tipo de visão que o *Lean* oferece, permite considerar e integrar outros tipos de desperdícios como os *Muda* aos desperdícios de sistema, para que estes estejam integrados na parcela dos produtos negativos [24], [26].

Esta união exige que mais tipos de desperdício sejam considerados e desta forma consideram-se outras soluções em conformidade com as necessidades tais como [25]:

- Redução do inventário;
- Redução dos custos;
- Redução do retrabalho;
- Redução dos desperdícios por processo;
- Redução do tempo necessário para produção;
- Aumento do conhecimento acerca do sistema de produção.

Conclui-se ainda que os custos de sistema e de energia estão diretamente relacionados com os desperdícios acima mencionados, ou seja, estão relacionados com a quantidade de tempo em que o produto está em processamento [25]. Se todas as operações e processos forem eficientes os desperdícios resultantes destes mesmos processos serão mínimos, originando um tempo produtivo menor e conseqüentemente menores custos de energia e de sistema [24], [26]. Estes resultados indicam uma rápida e eficiente resposta do sistema de produção e um custo de produção reduzido, ou seja, produtos mais competitivos no mercado [25].

A identificação de custos do MFCA traduz-se em inúmeros benefícios do ponto de vista da avaliação e justificação das opções de melhoria desenvolvidas em conjunto com a análise *Lean* [25].

Os desperdícios de materiais gerados em cada processo indicam a eficiência destas operações e consecutivamente a necessidade de uma melhoria. Quanto maior for a quantidade de fontes de desperdício, menor a eficiência na utilização de material. Essa informação transmite a necessidade da implementação de soluções que culminem na diminuição de desperdício [24]–[26].

A aplicação de soluções que levem à diminuição de desperdício podem ter os seguintes resultados [25]:

1. Redução dos custos de material;
2. Eliminação e/ou reduzir tempos de espera – Ineficiências temporais;
3. Redução de *input* de material.

Aplicar uma ferramenta EMA (Environmental Management Accounting) como é o caso do MFCA, a um conceito de melhoria de produção leva a um aumento da eficiência do consumo de material, energia e de recursos de sistema originando assim uma redução da pegada ecológica [24].

3. Abordagem ao caso de estudo e diagnósticos

O objetivo principal deste estudo consiste em tirar partido do potencial de complementaridade do MFCA, relativamente aos custos de fluxo de material com as ferramentas *Lean*. Através da avaliação do desempenho operacional, é possível evitar que o mesmo signifique um esforço elevado ao nível da recolha de informação bem como, um longo período de análise. Este objetivo será consolidado na proposta de uma abordagem que permita esta integração e ao mesmo tempo simplifique o processo de análise e recolha de informação. No entanto, é fundamental que a capacidade de identificar os principais pontos críticos não se perca ao longo do processo.

Esta dissertação foi fundamentada na literatura e nos estudos relacionados com a combinação da metodologia MFCA e ferramentas *Lean*.

Para alcançar o objetivo desta dissertação o estudo foi desenvolvido em parte, numa empresa do ramo da metalomecânica. Através de um estágio na empresa foi possível recolher os dados necessários para a realização do diagnóstico MFCA-*Lean*. Essa oportunidade permitiu concluir que este diagnóstico é bastante completo, uma vez que os seus resultados apresentam a realidade do sistema de produção da empresa.

O diagnóstico acima mencionado revelou-se complexo e demorado, por isso, no restante período na empresa idealizou-se uma metodologia que foi testada com o objetivo de verificar a sua viabilidade.

Numa primeira fase foi aplicada a metodologia MFCA a um tipo de produto que, de acordo com a empresa comum é produzida com bastante frequência. Como foi descrito no capítulo 2 a metodologia MFCA necessita de uma quantidade significativa informação detalhada sobre os vários processos. Essa informação foi obtida de todo o sistema de produção e centralizada no fluxo mássico e posteriormente convertido em fluxo monetário através da aplicação de MFCA. Esta fase teve a duração de um mês e meio, devido à complexidade da análise do ponto de vista de caracterização do processo de produção, recolha de dados e do seu tratamento.

A segunda fase centrou-se na realização de uma análise complementar focada no diagnóstico *Lean*. A simbiose dos dois conceitos gerou resultados de uma análise MFCA-*Lean*. Para o tratamento e estudo de dados desta análise foi necessário um mês adicional na empresa.

A terceira fase desta dissertação concentrou-se na análise dos dados obtidos nas fases anteriores. A análise conjunta das duas técnicas possibilitou uma análise bastante completa. Nesta fase foram ainda discutidas possíveis soluções para os problemas encontrados e expostos através de resultados na secção 3.6.

Em suma esta dissertação foca-se primeiramente em validar um diagnóstico MFCA-*Lean* e por último aplicar e verificar a sua pertinência, relativamente a um método de diagnóstico com o mesmo tipo de ferramentas, porém com um desígnio de “*quick*”.

3.1. Descrição da empresa e caracterização das atividades da empresa, Produto e Fluxo de produção

A empresa onde foi realizado o caso de estudo pertence ao grupo das Pequenas e Médias Empresas foi fundada em 2006 e dedica-se à indústria metalomecânica. A sua principal atividade é a conceção, fabrico e montagem de estruturas metálicas para os sectores aeronáutico, ferroviário e aeroespacial, sectores que exigem altos *standards* de qualidade e segurança. Com mais de 60 colaboradores, exporta a maior parte da sua produção para o mercado internacional, tendo como destinos principais os mercados alemão e francês.

Esta empresa tem registado um crescimento exponencial com maior incidência na última década. Progressivamente conquistou o seu espaço no mercado da área e uma elevada credibilidade junto dos seus clientes.

Esta empresa está organizada em três polos independentes como ilustra a Figura 4. No primeiro está instalada a fábrica de alumínio e inox e ainda os departamentos de contabilidade, controlo da qualidade, logística e preparação para a produção, no segundo são produzidos trabalhos em aço e realizam-se os processos de pintura de quinagem e calandragem, e no terceiro estão instaladas máquinas de CNC, plasma e maquinaria tradicional.



Figura 4-Polos de produção da empresa

3.1.1. Atividades da empresa e estratégia de produção

A empresa está dividida em seis atividades desde a comercial até à entrega ao cliente. Na Figura 5 encontram-se organizadas as atividades de acordo com o local onde ocorrem.

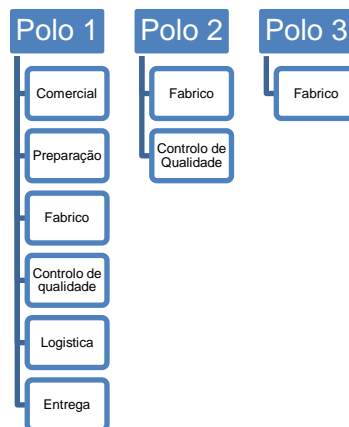


Figura 5- Distribuição das atividades na empresa

No polo 1 encontram-se todas as atividades pelas quais a empresa se subdivide:

- Atividade comercial – onde se inicia o contacto entre a empresa e o cliente;

- Atividade da preparação – onde se realizam desenhos técnicos de forma a preparar/planear a produção tendo em atenção as especificações da encomenda;
- Fabrico – um conjunto de processos de transformação de material para obter o produto final;
- Controlo de qualidade – atividade de controlo visual que ocorre após o processo de soldadura;
- Logística – Atividade de planeamento da entrega do produto final ao cliente;
- Entrega ao cliente.

No entanto algumas destas atividades repartem-se ainda pelos restantes polos da empresa. No polo 2 ocorrem os processos de fabrico e controlo de qualidade, no polo 3 encontra-se armazenada alguma matéria-prima e realizam-se também processos de fabrico.

A forma como as produções são iniciadas está diretamente relacionada com a estratégia de produção. Este género de indústria utiliza um tipo de produção discreta, ou seja, é uma produção responsável pela produção de um produto em particular e funciona de acordo com as encomendas dos clientes – Make-To-Order (MTO). Esta estratégia decorre em função dos requisitos, especificações e quantidades indicadas nas encomendas, evitando deste modo a acumulação de stocks.

Em todas as obras existe uma distribuição idêntica da equipa. Os trabalhadores operam num único turno com a duração de oito horas diárias. No entanto caso ocorra alguma urgência relacionada com a entrega, os operadores podem fazer horas extraordinárias. Os operadores são dedicados por posto e podem participar em todas as obras consoante as especificações da mesma. O preparador é responsável pela obra sendo que simultaneamente pode ser responsável por mais do que uma.

A equipa é composta por:

Chefe de preparação – Responsável pela atribuição da obra a um preparador específico, é o elo entre a área comercial e a atividade de preparação;

Preparador – Encarregue de desenvolver e validar os desenhos 2D de acordo com as especificações da obra. É responsável por planear por processo o caderno de encargos e ainda é responsável pelo esclarecimento de dúvidas durante a produção da mesma;

Chefe de fábrica – É responsável pelo planeamento da produção no chão de fábrica. Planeia a obra de produção consoante os tempos de entrega.

Operadores – Trabalhadores dedicados por posto de produção e estão encarregues de executar as tarefas designadas ao mesmo.

3.1.2. Produto

As obras produzidas na empresa distinguem-se através do tipo de metal que as compõe maioritariamente: aço ou alumínio. Adicionalmente podem ser classificadas pela empresa de acordo com a sua dimensão, peso ou complexidade por:

- Vigamento ligeiro – Estruturas complexas de pequenas dimensões;
- Vigamento pesado – Estruturas complexas de grandes dimensões;

- Guardas industriais – Estruturas de apoio e de suporte com curvaturas de variadas dimensões;
- Chaparia – Estruturas simples de variadas dimensões.

O tipo de obras abordado neste caso de estudo são obras produzidas exclusivamente em alumínio. Estas podem ser ainda subclassificadas como guardas industriais. Este tipo de obra é produzido com elevada frequência pela empresa, e como tal apresenta uma maior relevância em ser estudado. Todo o processo de produção decorre dentro da empresa e a sua produção incide nos três polos de produção.

Neste tipo de obras a matéria-prima disponível é em forma de chapa, varão e tubos de secção tubular. Na Figura 6 apresentam-se alguns exemplos do tipo de obra estudado.



Figura 6-Exemplos de produtos - "guardas industriais"

3.1.3. Fluxo de produção

O fluxo de produção representado na Figura 7, representa o fluxo de material da produção do produto analisado neste caso de estudo.

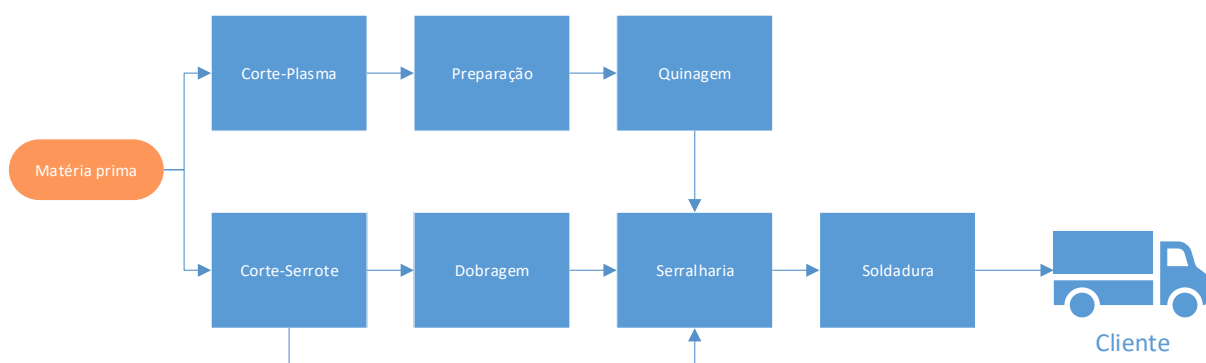


Figura 7-Fluxo de produção

O fluxo de material inicia-se com o corte por plasma, no caso da matéria-prima em chapa e com o corte no serrote para a matéria-prima que seja fornecida sob a forma de secção tubular ou varões. Após este processo, os materiais provenientes do plasma necessitam de um processamento que é realizado no

posto de preparação. Por outro lado, os materiais provenientes do serrote e da preparação seguem para os postos seguintes de dobragem de material. O material que provém da preparação segue para a quinagem enquanto que, uma parte do material proveniente do serrote é direcionado para a dobragem de tubos e a restante aguarda a conclusão destes dois processos.

Depois da dobragem de material, o posto que se segue é o de serralharia, onde ocorre uma pré ligação de material proveniente dos postos de quinagem, dobragem tubular e serrote. Neste posto é montado um gabari de forma a facilitar as tarefas de união. De seguida é realizado o pingamento que funciona como uma pré-montagem, ou seja, uma preparação para o posto seguinte.

Subsequentemente à pré-montagem, cada unidade segue para a soldadura onde é feita a união de todos os componentes de cada subproduto. Após o arrefecimento do material, este é sujeito a um controlo de qualidade por inspeção visual e através da utilização de líquidos penetrantes.

Processos de produção do caso de estudo:

De acordo com o fluxo de produção anteriormente descrito, existe uma sequência de processos que culminarão no produto final exigido pelo cliente. Esta dissertação foca-se nos seguintes processos de produção descritos em seguida, incidindo-se exclusivamente aos processos abordados no caso de estudo. De seguida descrevem-se os sete processos de produção mencionados anteriormente e uma breve descrição dos mesmos.

- Corte por Serrote – Este posto situa-se no polo 1 mais concretamente na oficina de alumínios e partilha o espaço com o armazém de matéria prima. Nesta área a matéria prima é fornecida na forma de secções tubulares e varões. Apenas um funcionário se dedica exclusivamente à função. Para além do serrote ser utilizado para o corte da matéria prima também faz pequenos acertos numa fase mais avançada do processo;
- Corte por plasma – Situado no polo 3, este posto recebe a matéria prima sob a forma de chapa. Para além da tecnologia de corte é necessário adicionalmente um exaustor para a extração dos gases libertados durante o procedimento. Neste posto existe um funcionário dedicado com o auxílio de um computador com software de CAD/CAM;
- Preparação – Este processo é desenvolvido no polo 1. Como o nome indica consiste em preparar o material proveniente dos postos de corte, de forma a alcançar as especificações necessárias para a fase seguinte do processo. As tarefas realizadas neste posto são: marcação e furação do material, chanframento de arestas vivas com o auxílio de uma rebarbadora. O número de operadores dedicados a este posto varia conforme as ordens da gestão de produção, podem estar 1 ou 2 funcionários dedicados;
- Quinagem – Efetuada no polo 2, o material que será processado provém do posto do plasma ou do material proveniente de um fornecedor externo. Tal como no posto anterior o número de operadores varia, consoante a dimensão do material a ser trabalhado;
- Dobragem – Este posto está apenas operacional quando existe uma quantidade significativa de material proveniente do serrote a ser trabalhado, por isso o operador é parcialmente

dedicado a este posto. Este posto trabalha exclusivamente tubos de secção circular provenientes do serrote, e encontra-se no polo 1.

- Serralharia – Existem 3 postos no polo 1 que exercem as funções de serralharia. As funções específicas deste posto consistem na pré-asmblagem das várias componentes provenientes dos polos anteriores, através da operação de pingamento. Pode surgir a necessidade de fazer um acerto de material para que as especificações da obra sejam cumpridas, este é realizado no posto de serrote. Para a realização desta função está dedicada uma pessoa por posto;
- Soldadura – À semelhança do posto de serralharia existem 3 áreas no polo 1 dedicadas exclusivamente a este tipo de operações. Para o caso de estudo este é o posto de conclusão do produto, aqui realiza-se a união permanente de todas as componentes através do método de soldadura TIG.

3.2. Procedimentos de diagnóstico

3.2.1.MFCA

Esta secção apresenta a aplicação baseada na metodologia MFCA, segundo os documentos [4], [11], [12]. Neste capítulo é explicado o modo de recolha de dados necessário para a obtenção de resultados através da análise e do modelo de cálculo do MFCA.

3.2.2.Introdução dos conceitos e envolvimento da empresa

O primeiro passo dado para a aplicação do MFCA foi dar a conhecer os conceitos do método aos departamentos da empresa implicados no diagnóstico, de forma a sensibilizá-los para o objetivo desta análise: identificação de desperdícios de material e promoção da sua redução, bem como dos custos de produção associados a estes desperdícios. O sucesso da implementação deste método requer a colaboração dos diferentes departamentos da empresa e por isso o seu envolvimento desde uma fase inicial foi fundamental. Para isso foi seguida a estratégia de *bottom-up* que visa a facilitação na aceitação de algo novo que surgiu na empresa. Esta estratégia entendida como horizontal, pois todos os setores da empresa participam ativamente nas definições e decisões de medidas pela empresa.

3.2.3.Definição dos limites da análise

Numa primeira fase desta análise foi necessário fazer uma caracterização do sistema de produção com o objetivo de conhecer a realidade da empresa, e assim entender quais serão os pontos chave desta análise. O resultado desta caracterização definiu:

- Quais as áreas, processos, produtos ou procedimentos que devem fazer parte da análise;
- Qual o período de recolha de dados e análise dos mesmos;
- Quais os *quantity centers* que deverão estar incluídos na análise.

Através da caracterização ficou definido o tipo de produto que deveria ser analisado: um produto que seja produzido na sua totalidade pela empresa e que tem impactos relevantes na produção, de forma a limitar a análise aos processos de produção realizados ao longo da produção.

O produto analisado é dividido em quatro componentes (Figura 8), e a sua produção é realizada de forma independente, e apenas são produzidas as quantidades orçamentadas, a fim de evitar acumulação de stocks. O produto final é enviado para o cliente, e este é responsável pela sua montagem final. Os quatro componentes são compostos por alumínio e são produzidas através dos mesmos processos de produção. Ficando assim definidos os limites da análise.

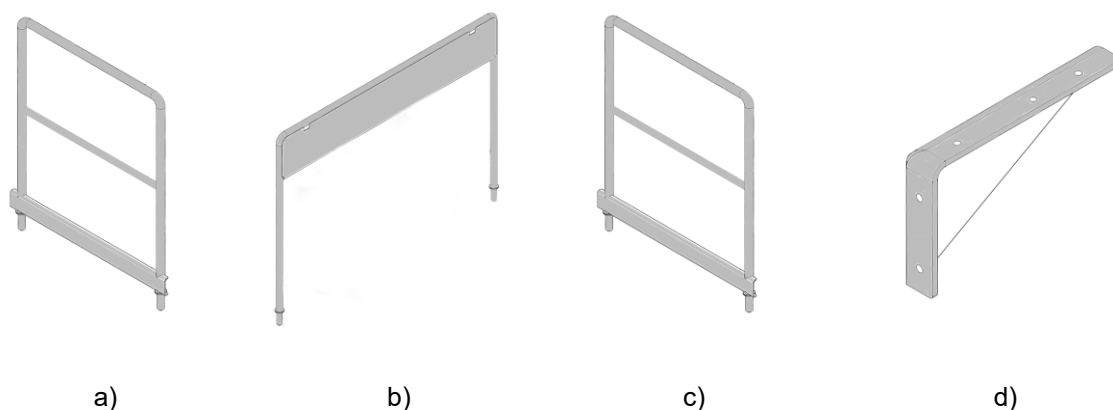


Figura 8-Componentes do produto final

O período de análise foi definido como sendo o tempo total de produção do produto selecionado, de forma a que a recolha de dados permita identificar problemas típicos da produção deste tipo de produto.

A definição dos *quantity centers* foi realizada de acordo com a norma ISO14051, e de acordo com a informação retirada da caracterização do sistema de produção. A sua definição foi facilitada com o mapeamento do fluxo mássico, e dos processos onde ocorre transformação de material. Os *quantity centers* no MFCA fazem parte do processo de produção onde os *input* e *output* de material são quantificados.

A produção inicia-se com a recolha da matéria prima na área de armazenamento, esta é feita manualmente por parte do operador do posto de corte-serrote, e com o auxílio de um empilhador, no caso do posto por corte por plasma. Após o processo de corte por plasma inicia-se a preparação do material, uma vez concluído, este é transportado para o posto de quinagem. Parte do material cortado no posto de corte-serrote, é posteriormente dobrado no posto de dobragem. Após os postos de quinagem e dobragem estarem concluídos, o material proveniente desses postos juntamente com o material do posto de corte-serrote é trabalhado no posto de serralharia, onde se inicia uma pré união dos componentes. Quando finalizada a pré união, o material segue para o posto de soldadura onde é finalizado o trabalho e é obtido o produto final, estando pronto para entrega ao cliente. O fluxo mássico encontra-se representado na Figura 9.

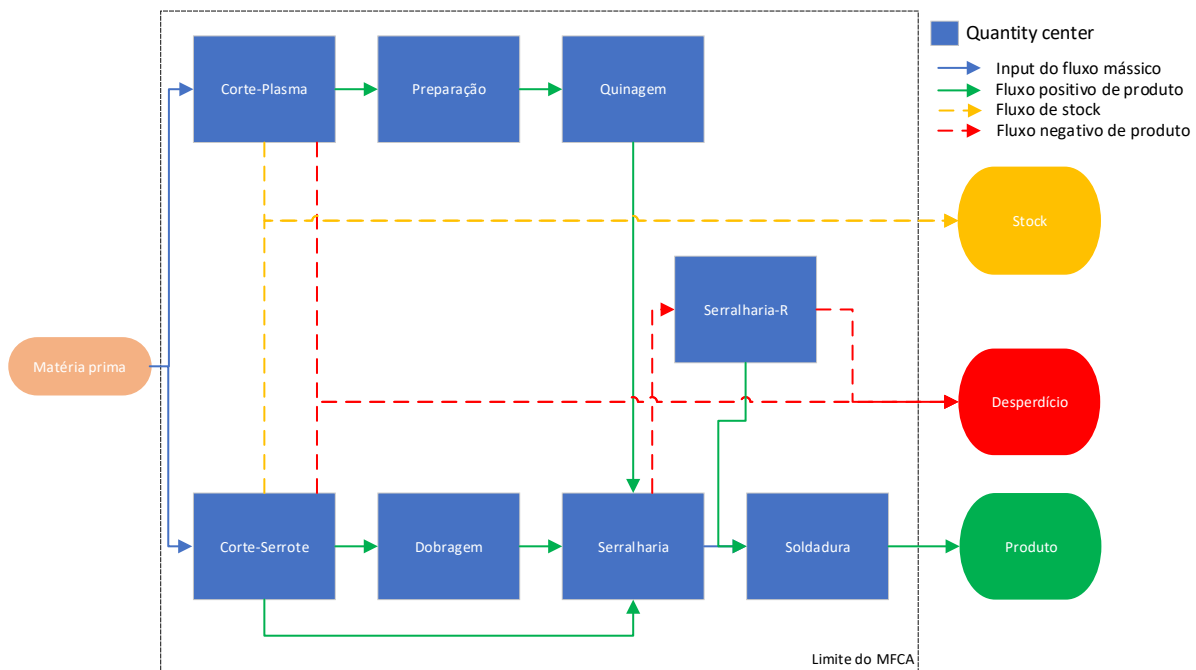


Figura 9- Fluxo mássico produtivo

3.2.4. Quantificação do fluxo mássico e monetário

Após a definição dos *quantity centers* de acordo com [4], é necessário quantificar os *inputs* e *outputs* do sistema. De acordo com a pesquisa bibliográfica os *inputs* devem ser divididos entre material e energia, e os *outputs* entre produto e desperdício. No entanto, no caso de estudo apenas será considerada a quantidade de material nos *inputs* de cada QC, pois a empresa não dispõe da informação necessária relativamente quantidade de energia fornecida em cada QC.

Para quantificar o material foram seguidas as etapas seguintes:

- Classificação de material utilizado na produção e que faz parte do produto final;
- Recolha de dados e quantificação de material.

Caracterização e classificação de material:

Para realizar uma análise MFCA é necessário diferenciar os materiais utilizados na produção em: materiais constituintes do produto final, e materiais utilizados na produção do mesmo produto, mas que não farão parte do produto final.

Neste tipo de produção é apenas utilizado um tipo de material como matéria prima: o alumínio este é utilizado para todo o produto. Contudo são utilizados alguns materiais auxiliares no posto de preparação, serralharia e soldadura. No caso do posto de preparação é utilizada uma película de plástico para acondicionar e transportar todos os componentes para o posto seguinte. Na serralharia e soldadura são utilizados elétrodos e tungsténio para realizar a união das componentes através de soldadura TIG.

Contudo neste caso de estudo apenas será quantificado o material proveniente da matéria prima, pois a quantidade de material auxiliar utilizado é residual, e não tem valor significativo na análise.

➤ **Método utilizado para a recolha de dados e quantificação de material**

Para a quantificação do material em *input* e *output* segundo [12] a mesma deverá ser feita em unidades físicas, neste caso a matéria prima será quantificada em quilogramas (Kg). Esta recolha de informação apresenta algumas limitações no que toca ao *output*. Pois, a empresa não detém nenhum método para quantificar e diferenciar o produto do desperdício em cada QC.

Foi assim necessário recorrer à planificação da utilização de material planeada pela preparação à produção. Desta forma foi possível obter o volume de material utilizado em toda a produção. Uma vez obtido o volume é possível calcular a massa do material utilizado. O procedimento para a obtenção das quantidades de matéria prima utilizadas, do produto e do desperdício proveniente dos QCs de corte é apresentada de seguida através da sequência de procedimentos:

1. Os *inputs* de material dos QCs de corte foram calculados através da planificação de obra. Nesta planificação com a utilização do software *cutting optimization pro* é feita uma simulação de cortes necessários de matéria prima (Figura 10). Através dos resultados da simulação é possível conhecer as dimensões do material. Consequentemente é possível distinguir as dimensões de material alocado ao produto, desperdício e o que ficará retido em stock.

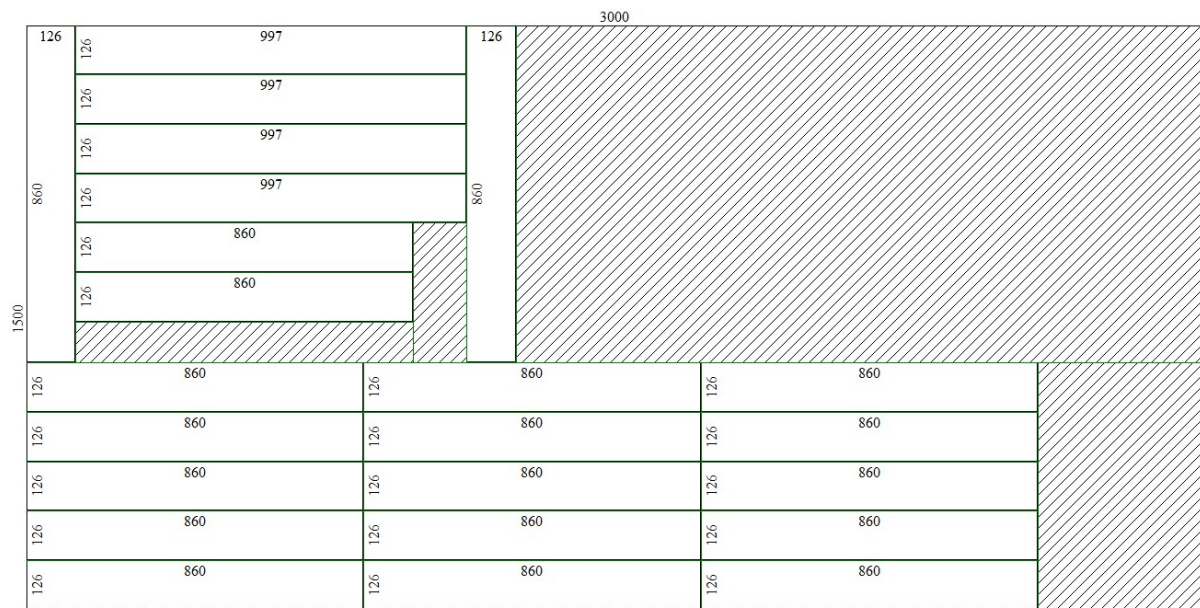


Figura 10-Exemplo de output de corte de chapa através da utilização da ferramenta Cutting optimization pro

2. Através das dimensões das áreas no caso das chapas e comprimento de material cortado no caso dos tubos, é possível calcular os volumes do material através das equações (2), (3) e (4):

$$V_{var\tilde{a}o} [m^3] = \pi \times raio^2 \times comprimento_{corte} [m] \quad (2)$$

$$V_{chapa} [m^3] = \text{área}_{projetada} [m^2] \times \text{espessura} [m] \quad (3)$$

$$V_{tubo} [m^3] = \pi \times (\text{raio}_{exterior}^2 - \text{raio}_{interno}^2) \times \text{comprimento}_{corte} [m] \quad (4)$$

3. Com o volume do fluxo mássico calculado, esta unidade é convertida para quilogramas através do cálculo da massa aplicando a seguinte equação (5):

$$M [kg] = \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times V_{varão,chapa,tubo} [m^3] \quad (5)$$

Sendo que ρ é a densidade do alumínio, e $\rho = 2697 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$.

Ao fazer o balanço de massa ao sistema de produção apenas no QC de serralharia se identifica novamente perda de material. Neste QC procedeu-se à recolha de dados relativamente ao volume de material retificado, através da observação do posto. O *input* de material neste posto é já conhecido, portanto apenas para o material que sai deste QC, é calculando através das equações (2) e (3) as quantidades exatas de material que farão parte do produto e as quantidades que farão parte do desperdício. Realizou-se uma entrevista informal ao colaborador pois, a sua experiência permite por vezes obter valores aproximados da realidade cerca de 15%, o que se verificou através dos cálculos.

Esta forma de quantificação de material foi utilizada para os quatro componentes do produto. Após a quantificação de todo o material que compõe o fluxo mássico, e após validação através do balanço de massa, a etapa que se segue é a conversão das quantidades físicas em quantidades monetárias.

As quantidades de material calculadas estão disponíveis na tabela em Anexo-A – Quantificação de material utilizado durante o caso de estudo

Método utilizado para quantificação e alocação de custos:

De acordo com a literatura [4] após a obtenção dos dados de entrada e de saída do fluxo mássico em quantidades físicas, deverão ser convertidas em unidades monetárias.

Segundo a norma ISO14051 [4] existem quatro tipos de custos que deverão fazer parte da análise do MFCA quando disponíveis. No presente caso de estudo não é possível quantificar os custos energéticos de forma individual, pois a empresa não disponibiliza nem consegue quantificar esses dados. Porém estes custos serão considerados de forma aproximada nos custos de sistema, essa forma de integração será explicada mais a frente.

Custo de Material:

O custo total é obtido com auxílio à equação (7) é possível obter o custo total em euros [€] do total de material envolvido no caso de estudo.

Para obter a quantidade de material proveniente da matéria-prima fornecida em chapa e quantidade de material fornecida em tubo e varão a seguinte equação (6) deverá ser aplicada.

$$Custo\ de\ material_{varão/tubo/chapa}[\text{€}] = Material[kg] \times \frac{Custo[\text{€}]}{[Kg]} \quad (6)$$

$$Custo\ total\ de\ material\ [\text{€}] = Custo\ de\ material_{chapa}[\text{€}] + Custo\ de\ material_{tubo}[\text{€}] + Custo\ de\ material_{varão}[\text{€}] \quad (7)$$

A informação do custo/quilo de cada matéria prima foi obtida através da consulta das notas de encomenda arquivadas pelo departamento de contabilidade.

Os valores calculados com os custos de material estão disponibilizados em Anexo-B - Contabilização dos custos de material e de sistema..

Custos de Sistema:

Fazem parte dos custos de sistema todos os custos envolvidos na produção, excluindo os custos com o material pois estes são contabilizados de forma independente. Contrariamente à norma ISO 14051 [4] os custos energéticos estão inseridos no custo de sistema, uma vez que não existe qualquer mecanismo de extração de custos do fluxo energético pela empresa. A empresa utiliza um valor estimado do custo em relação ao consumo de kw/hora por QC, este custo é designado por custo de operação e é visto como o custo energético por hora. Na Tabela 2 estão representados os valores de custo estimados por QC disponibilizados pela empresa e utilizados na análise MFCA

Tabela 2-Valores estimados de custo operacional em cada QC

QC	Custo operacional [€/hora]
Corte por serrote	3
Corte por plasma	30
Preparação	3
Quinagem	15
Dobragem	3
Serralharia	2
Soldadura	3,5

Para obter o custo por operação respetivo de cada QC, deve ser feito o cálculo da seguinte equação (8):

$$Custo\ por\ operação_{QC}[\text{€}] = Custo\ operacional_{QC} \left[\frac{\text{€}}{h} \right] \times t_{produção} [h] \quad (8)$$

Os valores de custo por operação estão disponibilizados em Anexo-B - Contabilização dos custos de material e de sistema.

Fazem ainda parte do custo de sistema, os custos com os colaboradores e o custo espaço ocupado.

A quantificação dos custos com os colaboradores tem uma abordagem semelhante ao custo por operação. Cada colaborador terá um custo/hora associado ao QC a que estará dedicado, esta atribuição foi feita pela empresa, de acordo com as funções e responsabilidades de cada tarefa ao

longo do processo de produção. Na Tabela 3 encontra-se a forma como o custo por operador está distribuído por QC, estes dados foram disponibilizados pela empresa:

Tabela 3-Custo de colaborador por hora em cada QC

QC	Custo por colaborador [€/hora]
Corte por serrote	14,50
Corte por plasma	15
Preparação	13
Quinagem	15
Dobragem	14,5
Serralharia	19,5
Soldadura	16

É possível obter o custo com os colaboradores através do cálculo da seguinte equação:

$$Custo\ por\ colaborador_{QC} [€] = Custo\ por\ hora_{colaborador_{QC}} \left[\frac{€}{h} \right] \times t_{produção} [h] \quad (9)$$

A parcela da equação (8) e (9) $t_{produção}$, corresponde ao tempo dedicado à produção por parte do colaborador e uma vez que a operação está dependente do operador, este valor é igual nas duas equações. Os valores calculados com os custos por colaborador estão disponíveis em Anexo-B - Contabilização dos custos de material e de sistema..

O custo reservado ao espaço dedicado a cada QC segundo a norma ISO 14051 [4] também deve ser calculado, através da seguinte equação:

$$Custo\ espaço_{QC} [€] = \frac{Área_{QC} [m^2]}{Área\ Total [m^2]} \times Custo\ com\ renda [€/h] \times t_{produção} [h] \quad (10)$$

Os valores de área atribuída a cada QC bem como da área total foram medidos no chão de fábrica, o custo de renda é de 3000€/mês e foi disponibilizado novamente pelo departamento de contabilidade, o $t_{produção}$ corresponde uma vez mais ao tempo dedicado à produção no QC em questão. Depois de calcular os valores de cada QC com o espaço, conclui-se que estes seriam muito reduzidos de forma a não terem qualquer impacto na análise, por isso, não foram considerados nos resultados obtidos excetuando os custos com o espaço de gestão de desperdício ou de stock. Todos os custos relacionados com o espaço por QC encontram-se disponíveis em Anexo-B - Contabilização dos custos de material e de sistema..

O $t_{produção}$ utilizado nos cálculos dos custos do espaço de colaborador e operação foram obtidos através da base de dados da empresa, a fim de registar os tempos produtivos por processo de cada obra. Estes valores estão disponibilizados em (Anexo-B).

Com os custos de sistema obtidos como anteriormente foi explicado, deverá ser feita a soma de todos os custos o que englobam de forma a obter o valor total de sistema por cada QC, através da seguinte equação (11):

$$\text{Custo de Sistema}_{QC}[\text{€}] = \sum \text{Custo por operação}_{QC}[\text{€}] + \text{Custo por colaborador}_{QC}[\text{€}] + \text{Custo espaço}_{QC}[\text{€}] \quad (11)$$

Os custos de sistema resultantes dos cálculos para cada QC estão disponíveis no Anexo-B - Contabilização dos custos de material e de sistema..

Alocação de outputs:

Os custos associados ao sistema são alocados aos *outputs* de cada QC, como produto ou como desperdício, de acordo com a razão de proporção de massa entre estes dois tipos de *output*. Por exemplo aos recursos de sistema fornecidos em cada QC é atribuído uma percentagem de *output* de forma a dissociar o *output* entre produto ou desperdício.

No caso de haver erros de produção que se traduzam em peças não conformes, os custos de sistema serão contabilizados como desperdício embora o material não o seja. Este tipo de tratamento apenas acontece quando o material não é considerado desperdício, podendo assim ser retificado e fazer parte do produto final, os custos de sistema são alocados ao desperdício pois serão considerados operações de retrabalho.

3.2.5. Tratamento de dados e aplicação do método de cálculo

Com a quantificação do fluxo de material em unidades físicas, a conversão para custos de material e o cálculo prévio dos restantes custos de produção por QC estão reunidas todas as condições para a aplicação do método de cálculo da ferramenta MFCA.

O sistema de produção analisado segue o método estratégico MTO, tendo uma padronização do ponto de vista de método e de etapas produtivas. A análise MFCA pode ser considerada adequada para este tipo de obras pois, não ocorrem oscilações significativas durante a produção em todo o sistema de produção, levando a que esta análise seja fidedigna para o processo de melhoria da produção do mesmo tipo de obra.

Os seguintes procedimentos foram utilizados para o desenvolvimento do modelo de cálculo de cada QC:

1. Calcular os custos de material que serão considerados como *input* do QC de acordo com o balanço de massa. Para os primeiros QCs de corte os custos de *input* considerados são os custos com a matéria prima;
2. Cálculo dos custos de sistema atribuídos de acordo com o QC em análise;
3. Cálculo do rácio entre produtos e desperdícios de forma a atribuir uma proporção aos recursos utilizados;
4. Alocação dos custos de sistema do QC baseado no rácio calculado anteriormente;
5. Cálculo dos valores de *output* do QC em análise dividido em produto e desperdício.

Para obtermos uma análise completa do sistema de produção, estes procedimentos devem ser realizados para todos os QCs do fluxo produtivo que constituem o caso de estudo. Esta análise pode ser ilustrada de acordo com um fluxo de custos, ao longo de todo o processo de produção ou, através

de uma matriz de custo onde estão compiladas todas as análises individuais de cada QC. Na Tabela 4 estão representadas a matrizes de custos do QC- Corte por plasma como exemplo.

Tabela 4 Matriz de custo para os QCs de corte

Matriz de custo de fluxo		QC-Plasma				
		Custo de material	Custo de Sistema	Custo com resíduos	Alocação	Total no CQ
INPUT	Input QC anterior					
	Input QC novo	395,65 €	65,25 €	9,71 €		470,61 €
	Total no QC	395,65 €	65,25 €	9,71 €		470,61 €
OUTPUT	Produto Desejado	303,13 €	49,99 €	- €	77%	353,13 €
	Produto Indesejado	14,68 €	2,42 €	5,98 €	4%	23,08 €
	Stock	77,83 €	12,84 €	3,74 €	20%	94,40 €
Total de custos com desperdício						
Total de Custos com Stock						
Total custos produto						
Total						

3.3. Diagnóstico MFCA

3.3.1. Análise de dados e resultados MFCA

A obtenção do modelo de cálculo do MFCA é a última etapa da aplicação desta metodologia. A partir deste modelo são apresentados todos os resultados da análise MFCA.

Numa fase inicial da análise de resultados foram avaliadas as quantidades de material que circularam em cada QC. O fluxo mássico obtido através das quantidades recolhidas durante a produção encontra-se ilustrado na Figura 11. Como se pode observar na Figura 11 os QC responsáveis pelo aparecimento de desperdícios de material são os QC de corte onde ocorrem os cortes de matéria-prima ou onde ocorrem pequenos acertos durante a produção. O material que posteriormente fica em stock provém apenas dos QC de corte.

Fluxo Mássico

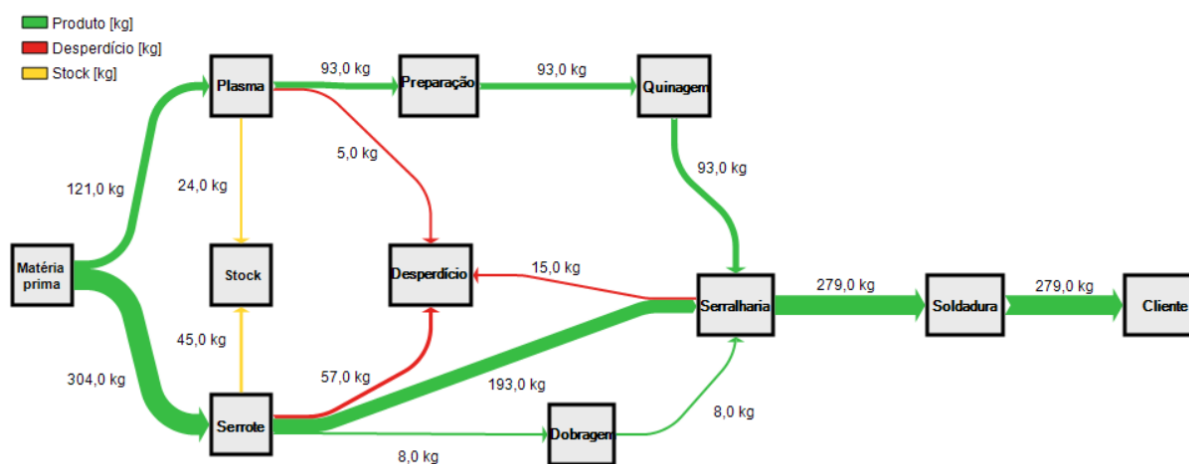


Figura 11-Fluxo mássico

Na Tabela 5 encontram-se os resultados referentes à matéria-prima utilizada no caso de estudo observado. A quantidade total de material requisitada para a produção da obra foi 425 quilogramas dos quais apenas 279 fazem parte do produto final, estes correspondem a 65,6% do total. A quantidade desperdiçada e armazenada foi 77 e 69 quilos respectivamente, em termos percentuais a correspondência é de 18,1% e 16,2%.

Tabela 5-Utilização de material

Total [kg]	Produto [kg]	Produto	Desperdício [kg]	Desperdício	Stock [kg]	Stock
425	279	65,6%	77	18,1%	69	16,2%

Como explicado anteriormente o modelo de cálculo resulta num mapa de fluxo de material e de custo, onde se expõem os resultados de cada QC individualmente. Este mesmo fluxo pode ser apresentado sob a forma de uma matriz de custo como se encontra em tabela no Anexo-C – Matriz de custo em cada QCe uma forma simplificada é apresentado na Figura 12 um diagrama de fluxo de custo, onde é possível aferir o fluxo de custos ao longo do processo de produção.

Fluxo de Custos

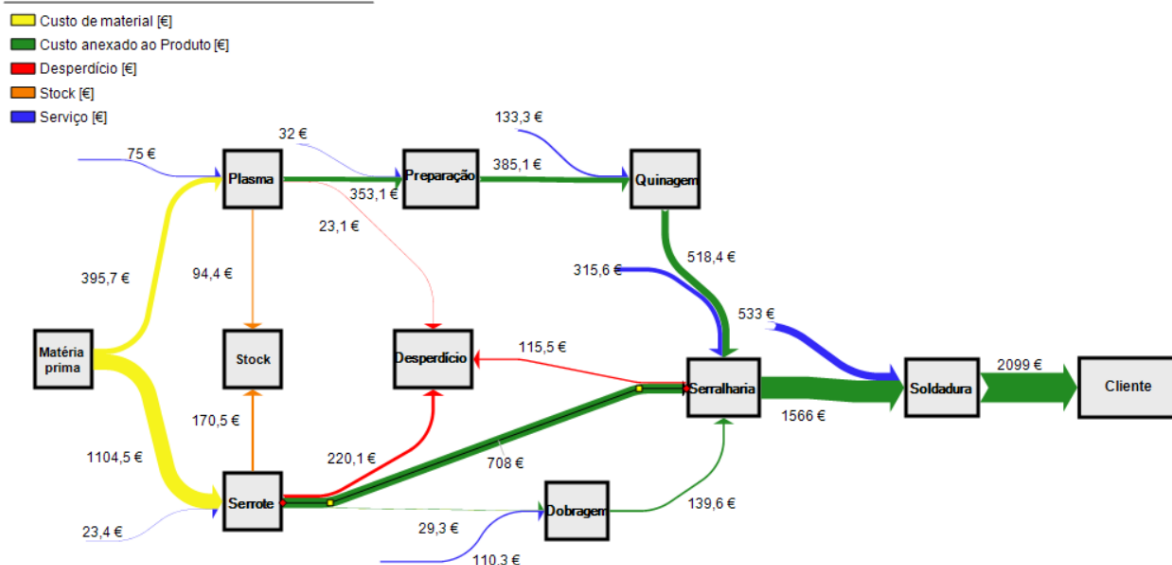


Figura 12-Fluxo de custo obtido através do modelo de cálculo do MFCA

O principal objetivo deste fluxo é diferenciar os custos reais de produção associados ao desperdício dos associados com o produto. Permitindo assim avaliar individualmente em cada QC, o tipo de custo de *input*, como custo de material ou de serviço e posteriormente distinguir o custo de *output*, em desperdício, produto ou *stock*.

Através da análise da Figura 12 e da tabela disponível no Anexo-C – Matriz de custo em cada QC, é possível identificar os processos que contribuem para o aumento dos custos associados ao desperdício de material bem como, os custos associados ao stock de material e que em nada contribuem para o valor do produto final.

O QC-Corte por serrote é o QC cuja contribuição individual é mais significativa para o custo. Com o desperdício com cerca de 220€ ao longo da produção observada. Este custo corresponde a cerca de 19% do custo total investido em recursos neste QC. O QC-Corte por serrote contribui ainda para um aumento de custos alocados ao custo de stock com cerca de 15% da quantidade de material fornecido a este QC, cujo custo associado é de 170,5€.

Através da análise da matriz de custos na tabela no Anexo-C – Matriz de custo em cada QC é possível observar a totalidade de custos envolvidos na produção e a forma como estes são alocados ao *output* de cada QC, diferenciando uma vez mais a totalidade de custos agregados ao produto, desperdício ou stock. Na mesma tabela em anexo é possível concluir-se que o custo associado ao produto final é de 2098,99€ correspondendo a 77% do total investido na produção da obra observada. O valor associado ao desperdício é de 358,66€ o que equivale a 13% do total investido, o restante valor investido 264,89€ corresponde ao valor agregado ao material armazenado.

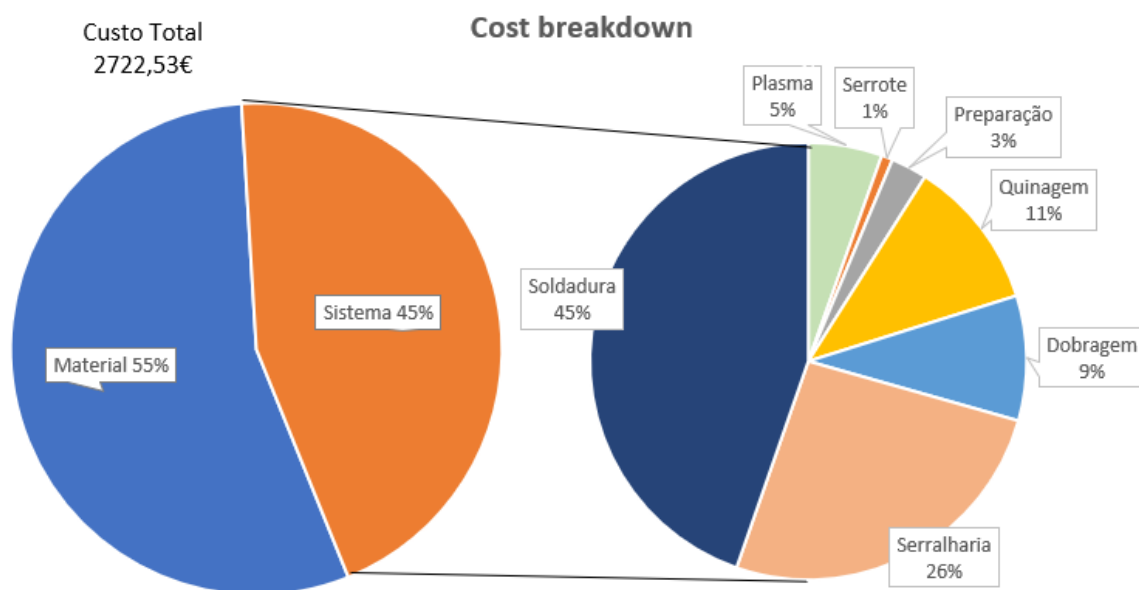


Figura 13-Cost breakdown

A Figura 13 apresenta os resultados do estudo dos custos totais de produção, sendo possível diferenciar de forma detalhada a sua origem. Na produção em análise surgem apenas dois tipos de custos: materiais e de serviço. Realça-se que os custos com equipamento, homem e espaço são custos que constituíntes dos custos de serviço. Uma vez analisados os QC, procedeu-se à análise do sistema de forma global analisando a figura 13, é possível verificar-se que o custo de material representa 55 %, sendo por isso o custo que mais contribui para o custo total, seguindo-se do custo de serviço que representa um total de 45% do valor total investido (2722,53€). O custo material ocorre de forma singular quando a empresa adquire a matéria-prima, por esse motivo os resultados concentram-se nos custos de serviço e na forma estes se encontram distribuídos pelos QCs. Na Figura 13 encontram-se identificados três tipos de custo de serviço sendo que, os custos com os colaboradores e o custo por operação são os que apresentam maior contribuição com pesos de 35% e 9% respetivamente. Estes custos não se distribuem regularmente ao longo do processo de produção, devido a variados fatores tais como: a quantidade de material transformada em cada QC, o tempo despendido para produção e o retrabalho.

Uma análise mais detalhada dos custos de cada QC permite identificar a sua origem, embora a análise MFCA não alcance as causas raiz dos problemas que, através observação in loco ou com recurso a ferramentas Lean seria possível detetar. Nas Figura 13 e Figura 14 verificam-se os custos de serviço e a forma como estes são fornecidos em cada QC. Interligando a análise da Figura 13 à matriz de custos confirma-se que os QC onde ocorre maior investimento é no QC de soldadura, serralharia e quinagem. Através da análise da Figura 14 identifica-se de forma diferenciada a forma como os custos de serviços estão distribuídos em cada QC do caso de estudo.

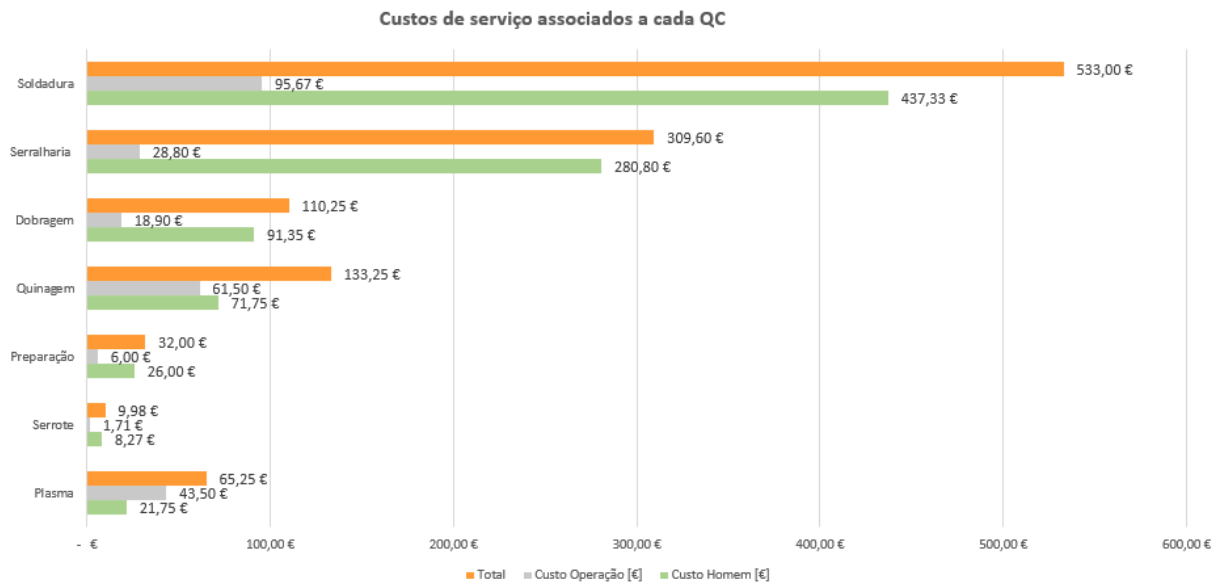


Figura 14-Custos de sistema associados a cada QC

De acordo com a análise do fluxo de custos e da matriz de custos é possível identificar-se a valorização do material ao longo da produção. Na Figura 15 está descrita uma curva de valorização do material e peso contributivo de cada QC para essa mesma valorização. Este resultado permite identificar o processo que mais acrescenta valor da ótica MFCA ao produto final. A valorização do produto ocorre quando é feito um investimento em material ou em recursos utilizados na sua produção, esta ocorre nos QC onde existem maiores custos com serviços como anteriormente referido, estes QC são os processos de quinagem, serralharia e soldadura com valorizações de 11%, 18% e 25% respetivamente.

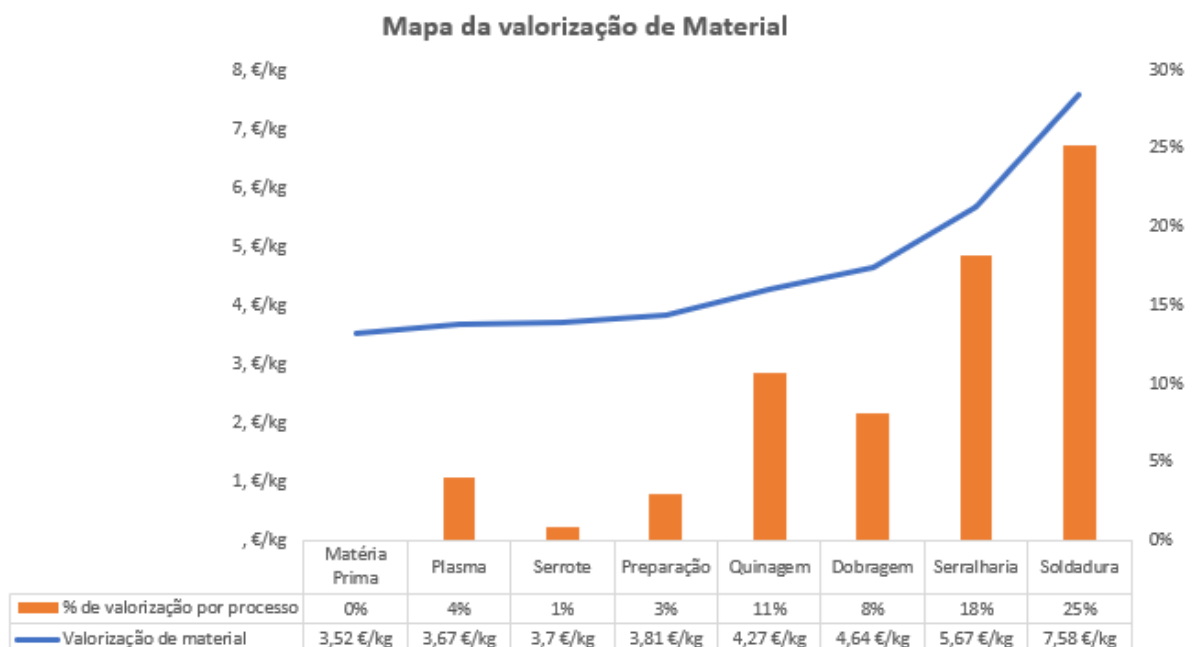


Figura 15-Mapa da valorização de material

Com objetivo de se identificar a contribuição de cada QC para o valor total de custo de produção efetuou-se uma análise complementar. Os resultados obtidos encontram-se distribuídos relativamente à sua tipologia: materiais, serviços.

Os resultados obtidos encontram-se expostos na Tabela 6, identificam a percentagem que cada QC contribui para o custo total de produção. A análise de resultados da Tabela 6 permite concluir que o QC que mais contribui para o custo total da produção é o QC-Serrote representando 41% seguindo-se pelo QC de soldadura 20%, plasma 17% e finalmente serralharia 12%. É ainda identificável o valor total agregado ao produto (2098,99€), ao desperdício (358,66€) e ao stock (264,89€).

Tabela 6-Contribuição de cada QC para o custo total de produção

	Produto	Desperdício	Stock	Contribuição total de custos
QC-Plasma	353 €	23 €	94 €	17%
QC-Serrote	737 €	220€	170 €	41%
QC-Preparação	32 €	- €	- €	1%
QC-Quinagem	133€	- €	- €	5%
QC-Dobragem	110 €	- €	- €	4%
QC-Serralharia	200 €	115 €	- €	12%
QC-Soldadura	533 €	- €	- €	20%
Total	2 099 €	359 €	265 €	

Uma vez terminada a análise da contribuição de custo de cada QC procedeu-se à análise de contribuição de cada parametro para o acréscimo de valor ao produto em cada QC como é ilustrado na .Figura 16.

Contribuição de cada parâmetro para o acréscimo de valor ao produto em cada QC

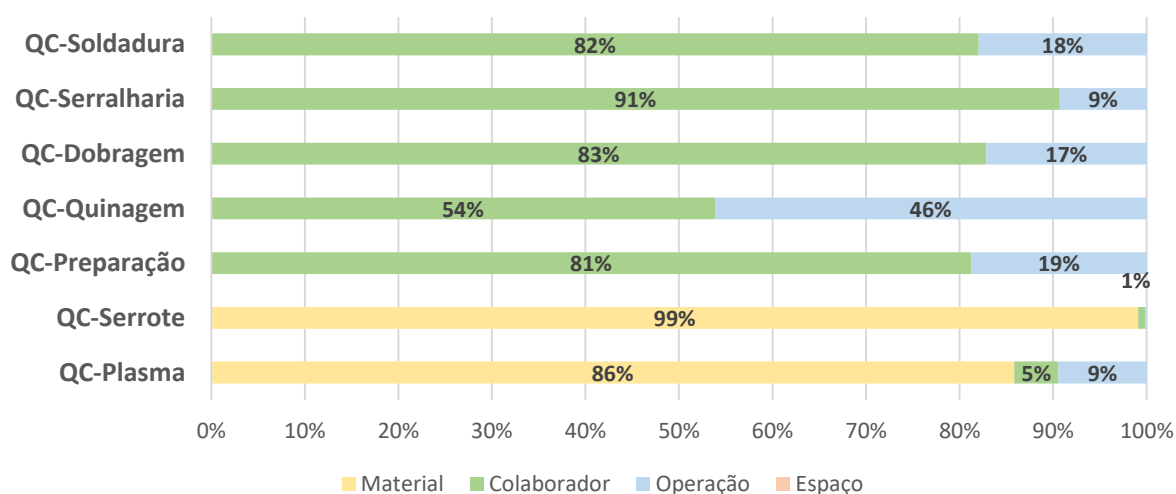


Figura 16-Contribuição de cada parâmetro para o acréscimo de valor ao produto em cada QC

Esta análise permite assim conhecer em detalhe a origem, do acréscimo do produto em cada QC. Por exemplo através da observação da Figura 16 verifica-se que no posto de Serralharia 91% da valorização do produto corresponde ao colaborador sendo que os restantes 9% correspondem à operação. No caso do QC-Serrote o valor do produto corresponde em 99% ao valor do material sendo que 1% deve-se ao trabalho desenvolvido neste QC. No QC-Plasma a contribuição da valorização com o valor do material é de 86%. Os custos com material são alocados uma única vez em todo o sistema de produção, o que se traduz numa forte influência no custo associado a estes QCs.

De acordo com a informação da Figura 14 o QC que apresenta uma maior contribuição para os custos com o output deforma global é o QC-Soldadura, fator justificado devido ao tipo de produção deste caso de estudo. Como se trata de uma produção manual que depende exclusivamente do colaborador, o custo deste recurso traduz-se num elevado impacto. De acordo com a Figura 16 o custo com o colaborador representa cerca de 82% sendo que os restantes 18% correspondem a custos de operação. À semelhança do QC-Soldadura, é possível verificar que a contribuição dos custos associados ao produto nos QC de serralharia dobragem, quinagem e preparação são apenas influenciados de acordo com os custos com o colaborador e operação.

Contribuição de cada parâmetro para o valor de desperdício em cada QC

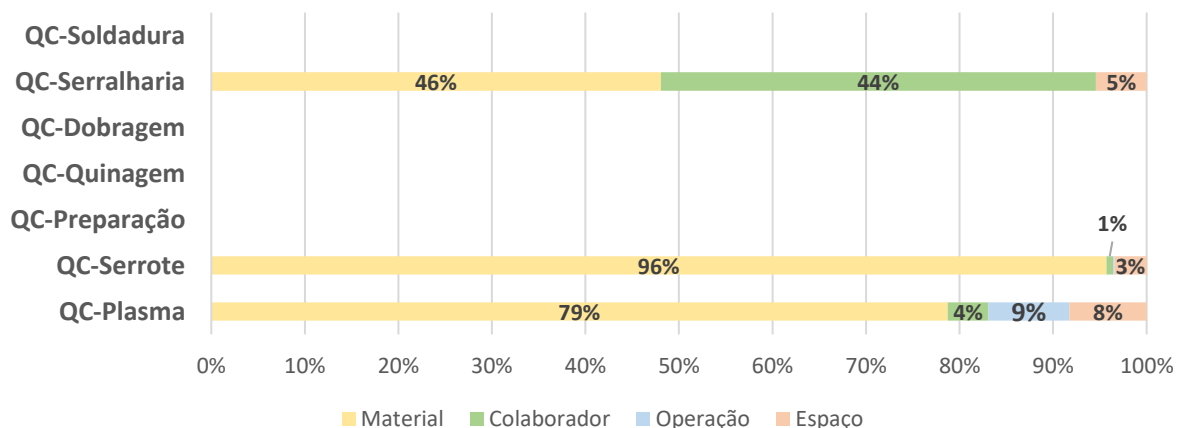


Figura 17-Contribuição de cada parâmetro para o valor de desperdício em cada QC

Como esta análise complementar tem na sua base o estudo realizado ao fluxo de material é possível identificar quais os QC com maior contribuição para o valor de desperdício Figura 17. A quantidade de desperdício tem implicações relativamente ao aumento dos custos relacionados com o espaço necessário ao armazenamento e depósito de material perdido.

Sendo o QC de corte o principal contribuinte para o desperdício é expectável que neste mesmo QC ocorram maiores custos com o material desperdiçado agregados ao mesmo. No QC de corte, o custo de material agregado ao desperdício tem uma contribuição de 79% e 96% respetivamente. Por oposição ao QC-Serralharia onde o custo despendido com o material atinge os 46%, fator que se deve às quantidades desperdiçadas e à necessidade de retrabalho. Sendo que não é necessário adicionar

material, mas dispensar um maior número de horas de trabalho manual, o que significa um aumento de custos que representam 44% da contribuição de custos associados a este QC.

3.3.2. Identificação de problemas

Nesta secção será apresentada uma análise efetuada segundo a filosofia Lean Manufacturing. Os resultados do diagnóstico efetuado permitiram identificar alguns problemas no sistema de produção, nomeadamente:

- Grandes quantidades de material não utilizado como produto, ficando assim em stock ou dado como desperdício;
- Elevados custos de sistema em alguns QC.

Foi realizada uma análise com recurso à ferramenta 5 *Whys* para se identificar as causas raiz dos problemas evidenciados previamente através do diagnóstico MFCA, como se verifica através da Figura 18 .

O método 5Whys permitiu concluir que as grandes quantidades de material desperdiçado são um problema que tem origem nas tecnologias de corte disponíveis na empresa que, por sua vez apresentam nos seus processos de corte ineficiências relativamente à capacidade de aproveitamento de material. A ineficiência encontrada durante os processos de corte tem como causa raiz uma pobre otimização e planeamento de utilização de recursos.

O segundo problema identificado está relacionado com o elevado valor de custo de serviço em alguns QC, os fatores que estão na origem desse problema são as grandes quantidades de material a ser trabalhado, as tarefas do QC demasiado longas e por fim a necessidade de retrabalhar o material. As quantidades de material são muito elevadas devido à acumulação de material antes de ser trabalhado no QC, esta acumulação acontece por causa da indisponibilidade de outros postos/colaboradores na iniciação das tarefas produtivas. Consecutivamente na origem desta indisponibilidade está a existência de outras obras em curso. As tarefas produtivas demasiado longas ocorrem devido à elevada carga de trabalho para apenas um colaborador/posto, esta é motivada pela indisponibilidade de distribuir as tarefas produtivas por outro colaborador/posto, que por sua vez se deve à existência de outras obras em curso. Esta causa é repetida e originada pela causa raiz ou ainda pelo mau dimensionamento de recurso para o posto do sistema de produção. Por último, uma outra causa raiz encontrada para os custos de serviços avultados foi a necessidade de retrabalho em alguns QC.

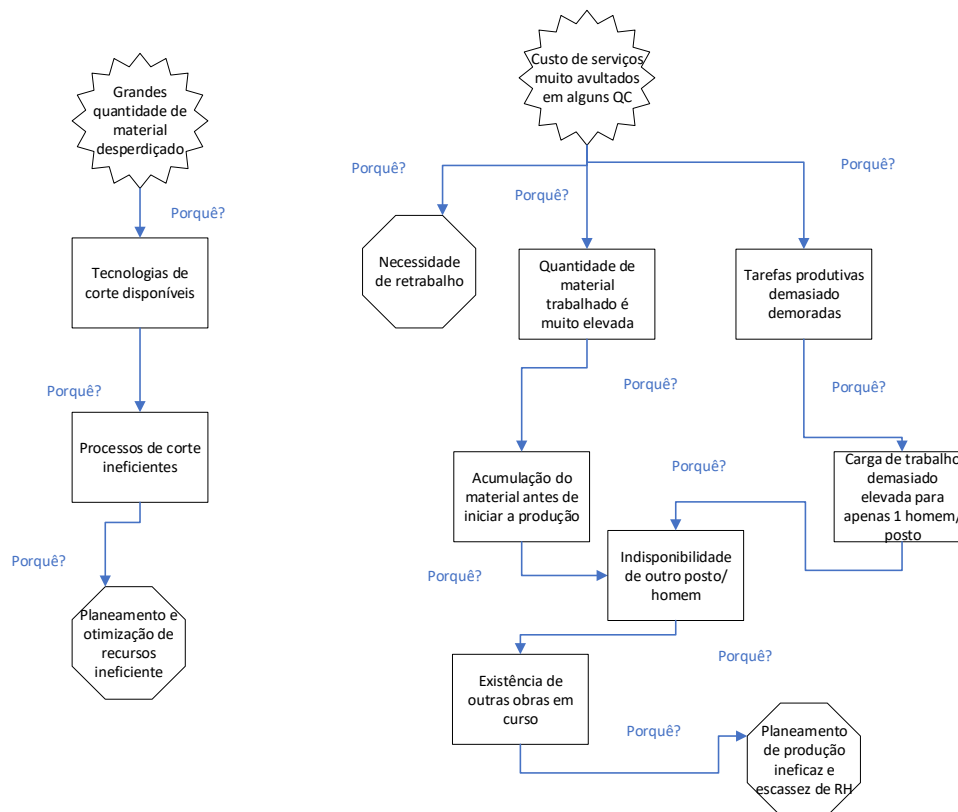


Figura 18-Esquemática da aplicação da ferramenta 5 Whys para determinação das causas raiz dos problemas encontrados no diagnóstico MFCA

3.3.3. Conclusões da análise MFCA

A aplicação de uma análise MFCA à produção de um produto fundamenta a ideia de que este método permite à empresa identificar e conhecer o estado atual do sistema de produção bem como, os desperdícios que nele ocorrem e quais os custos associados.

Antes desta análise não era conhecida a quantidade, em termos materiais e monetários dos desperdícios uma vez que, a empresa não estava sensibilizada para o impacto que os desperdícios têm no seu sistema atual de produção.

A partir desta análise identificou-se que cerca de 13,2% do material é desperdiçado e o custo associado é de 358,66€. Os valores agregados ao produto, desperdício e *stock* são apresentados na Tabela 7-Diferenciação *de custos*.

Tabela 7-Diferenciação de custos

Total [€]	Custo produto [€]	Custo de produto	Custo de desperdício [€]	Custo de desperdício	Custo de stock [€]	Custo de stock
2722,53	2098,99	77,1%	358,66	13,2%	264,89	9,7%

O método de análise MFCA poderá ser utilizado como uma ferramenta de diagnóstico uma vez que, permite avaliar e compreender o valor real dos custos bem como, o seu impacto no sistema de

produção. Desta forma é possível aos responsáveis tomarem decisões em que o mapa financeiro do seu sistema de produção esteja completo e as suas tomadas de decisão fundamentada com dados reais.

A análise MFCA através dos dados recolhidos e da caracterização do sistema permite identificar os desperdícios e o local onde ocorrem, no entanto, não permite identificar as causas e as ineficiências do sistema que promovem a ocorrência deste tipo de situações. Assim ao utilizar, como mencionado na secção 3.5.2, a técnica dos *5whys* segundo a lógica *Lean* é possível determinar as causas raiz de problemas identificados no diagnóstico MFCA. Esta conclusão evidencia a necessidade de combinar este tipo de análise contabilístico com uma análise de desempenho de todo o sistema de produção para que, uma vez mais sejam identificados novos tipos de desperdício ou ineficiências encontrando assim as causas raiz de problemas.

3.4. Diagnóstico utilizando ferramentas Lean

Esta secção apresenta o seguimento das métricas e metodologias de diagnósticos utilizados de forma a caracterizar todo o sistema de produção, aplicando ferramentas Lean. Este diagnóstico usa abordagens mais recentes relacionadas com a filosofia e com a melhoria contínua e por isso este diagnóstico designa-se por diagnóstico Lean. Nesta secção explicar-se-á o modo de recolha de dados, que serão necessários para a obtenção de resultados para a análise Lean. As técnicas utilizadas foram adaptadas de acordo com a realidade encontrada no chão de fábrica e com lacunas encontradas durante o estágio na empresa.

Em primeiro lugar a indústria metalomecânica revelou-se um ramo com potencial a ser explorado devido à diversidade dos produtos produzidos, e por isso foi necessário entender a forma como toda a produção funciona, a sequência de operações e os processos de produção envolvidos.

A aplicação de ferramentas Lean permitirá colmatar algumas das limitações encontradas na análise MFCA e, enriquecer o diagnóstico através da união das duas ferramentas de diagnóstico. A análise Lean permitiu não só avaliar o sistema de produção do tipo de obra seguido na análise MFCA, mas também outros processos que ocorrem na fábrica de alumínios.

Para a realização da recolha de dados no gamba em cada QC foi utilizada como primeira abordagem o contacto pessoal. Para que os colaboradores de cada QC conheçam os objetivos da utilização das metodologias e de ferramentas *Lean*, de forma a criar empatia e interação entre ambas as partes.

Foram implementados vários métodos de análise de eficiência do sistema de produção, de forma a identificar mais fontes de desperdício que possam limitar a eficiência produtiva da empresa. Estes métodos são explorados em detalhe nas subsecções seguintes.

3.4.1. Análise Visual

A análise visual foi a primeira ferramenta a ser utilizada, pois através desta foi possível conhecer o método de funcionamento de cada operador em cada QC, bem como todas as tarefas necessárias à

produção no posto. Utilizaram-se duas formas de análise visual, a primeira foi observação do QC à distância, numa posição mais alta que o chão de fábrica, a segunda foi junto do posto de trabalho. Através deste método foi possível avaliar a possível alteração de comportamento por parte do colaborador, devido a estar sob observação por uma pessoa externa à empresa. Esta análise revelou-se de extrema importância não só para ter conhecimento mais aprofundado do sistema operativo, mas também para integrar de forma ativa a atividade da empresa.

3.4.2. Entrevistas informais

As entrevistas permitiram fortalecer a ligação com os operadores de cada QC e aprofundar conhecimento sobre o método de funcionamento do mesmo. As entrevistas foram realizadas todos os dias durante o período de avaliação *Lean*, o que permitiu detetar pontos de melhoria de todo o funcionamento do sistema de produção.

3.4.3. Estudo dos tempos

Esta técnica foi utilizada para medir os tempos produtivos e não produtivos de cada QC, o que se revelou fulcral pois, permitiu avaliar o desempenho de cada QC. Foram utilizados dois métodos de estudo: observações instantâneas e por cronometragem.

As observações instantâneas, técnica utilizada no chão de fábrica, permite contabilizar o número de ocorrências durante um período pré-definido, de forma a representar em termos qualitativos, a realidade do sistema de produção da empresa. Através deste método foi possível analisar as obras no chão de fábrica a fim de identificar as causas de paragem de produção das mesmas.

Através da observação e cronometragem foi identificado o tipo de tarefas realizado em cada QC e ainda o tipo e a duração das tarefas. As observações por cronometragem permitiram uma avaliação contínua do tempo produtivo e a identificação do tipo de tarefas realizadas em cada QC.

Assim, foi necessário caracterizar cada tarefa de acordo com a sua contribuição para acrescentar vaao produto. A caracterização das tarefas realizadas durante o tempo produtivo foi efetuada segundo a ferramenta SID – sistema de indicadores de desempenho [27] e encontra-se representada na Figura 19.

Categorias	Tipo
Limpeza	NAV N
Transporte	NAV
Medição e marcação	NAV N
Ferramenta	NAV N
Posicionamento	NAV N
Movimento	NAV
Valor Acrescentado	AV
Interrupção e troca de trabalho	NAV

*Figura 19- Caracterização das operações segundo a metodologia SID
AV-Valor acrescentado, NAV N-Sem valor acrescentado necessário, NAV- Sem valor acrescentado*

A definição das operações e alguns exemplos das tarefas consideradas em cada operação SID estão identificadas na Tabela 8.

Tabela 8- Definição de operações segundo a metodologia SID

Categoria	Definição	Tarefas
Limpeza	Operações relacionadas com a limpeza do equipamento de produção e dos componentes processados.	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza do equipamento • Limpeza do componente produzido • Limpeza da área de trabalho
Transporte	Operações relacionadas com a movimentação de materiais, envolvendo sistemas auxiliares de movimentação.	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de peças
Medição e marcação	Operações relacionadas com medição e marcação dos componentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Medição de componentes • Marcação de componentes
Ferramenta	Operações relacionadas com a limpeza, manutenção, colocação e remoção de ferramentas na máquina.	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção de ferramentas • Preparação de ferramentas • Medição de ferramentas
Posicionamento	Operações relacionadas com a remoção da peça processada e colocação da peça a processar.	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção e colocação de componentes da máquina • Rotação de peças para posteriores operações
Movimento	Operações relacionadas com o movimento do operador em vazio para recolher algum tipo de ferramenta, acessório ou informação.	<ul style="list-style-type: none"> • Procurar/reunir utensílios, ferramentas • Reunir informação • Movimentos em vazio
Valor Acrescentado	Qualquer operação acrescente valor ao produto final.	
Interrupção e troca de trabalho	Tarefas não relacionadas.	

3.4.4. Mapeamento da Cadeia de Valor (VSM)

A ferramenta VSM foi escolhida para aplicar na fase de diagnóstico *Lean*, devido à possibilidade de centrar toda a informação recolhida nas alíneas anteriores, com vista a identificar as tarefas classificadas como desperdício, ocorridas durante o fluxo de produção.

O estado atual do sistema de produção observado foi descrito com base nos tempos produtivos recolhidos pelo sistema de dados da empresa e comparados com a análise realizada sobre as tarefas com e sem valor acrescentado. Desta forma é possível identificar algumas lacunas do sistema de produção.

3.5. Diagnóstico segundo as métricas Lean e gestão visual

3.5.1. Análise de dados e resultados Lean

Através da aplicação da metodologia anteriormente descrita realizou-se uma análise aos tempos produtivos. Esta análise foi executada no mesmo caso de estudo, com o intuito de aprofundar os conhecimentos do ponto de vista de performance produtiva.

A linha temporal que representa o *lead time* da produção da obra estudada no caso de estudo encontra-se representada na Figura 20, os tempos produtivos estão distribuídos por cada QC. O *lead time* de produção da obra teve a duração de 95 horas, correspondendo a 11 dias produtivos.

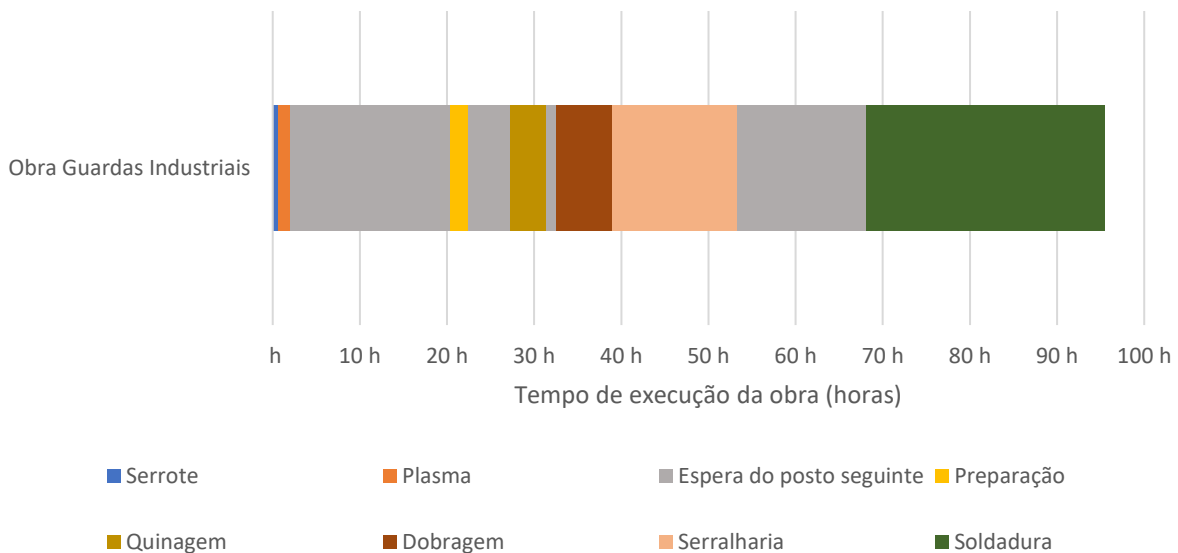


Figura 20-Lead time Guardas Industriais

De acordo com os tempos disponibilizados e com as observações realizadas no chão de fábrica e ainda segundo o fluxo de produção do caso de estudo, obteve-se um mapa de fluxo de valor da produção que segue as lógicas de um *Value Stream Mapping* (VSM). O VSM simplificado obtido está representado na Figura 21 onde se podem distinguir os tempos produtivos, em cada QC das tarefas classificadas como: Tarefas de Valor Acrescentado (AV), Tarefas Sem Valor Acrescentado, mas Necessárias (NAV N) e Tarefas Sem Valor Acrescentado (NAV).

Ao analisar o VSM atual da produção do tipo de produtos observados neste caso de estudo, verifica-se a existência de uma comunicação ineficaz entre cada QCs uma vez que, foram observadas paragens durante a produção entre QCs o que revela um tipo de produção *push* ou empurrada

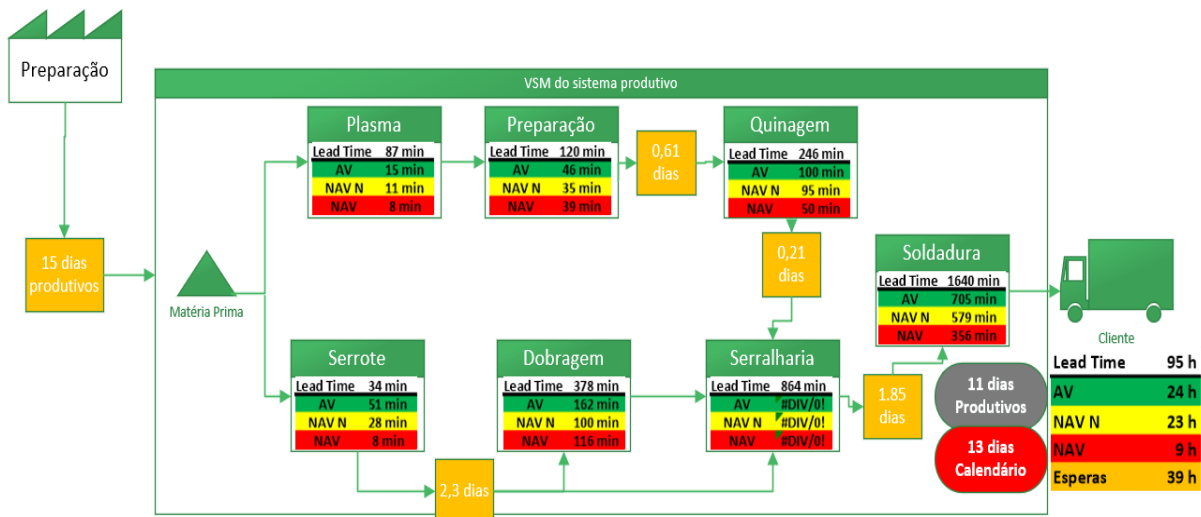


Figura 21-VSM simplificado da produção do sistema de produção observado

Para a caracterização do VSM simplificado atual são necessários dados como o *lead time* produtivo, o tempo de valor acrescentado, o tempo sem valor acrescentado necessário e tempo sem valor acrescentado. O *Process Cycle Efficiency* (PCE) é um outro indicador que faz parte da ferramenta VSM relevante do estado produtivo do sistema uma vez que permite avaliar a performance de todo o sistema de produção através da equação (12):

$$PCE\% = \frac{AV}{Lead\ time} \quad (12)$$

O desempenho do sistema de produção ao longo de toda a cadeia de valor analisada, medido através do PCE, é de 23%. Analisando com maior detalhe o VSM do sistema de produção é possível calcular outros indicadores como os mencionados na Tabela 9-Indicadores *de performance VSM*. Estes indicadores indicam por exemplo que 41% do tempo total produtivo (39 horas) é desperdiçado na forma de *Work in Progress*(WIP) devido às esperas entre postos.

Tabela 9-Indicadores de performance VSM

AV	23%
NAV N	22%
NAV	14%
Esperas do posto seguinte	41%

Tabela 10-Tempos absolutos distribuídos por tarefas de cada QC

		Plasma	Serrote	Preparação	Quinagem	Dobragem	Serralharia	Soldadura
Limpeza	NAV N	2 min	0 min	3 min	0 min	0 min	0 min	0 min
Transporte	NAV	1 min	8 min	1 min	0 min	0 min	0 min	0 min
Medição e marcação	NAV N	3 min	0 min	5 min	15 min	4 min	305 min	24 min
Ferramenta	NAV N	0 min	6 min	3 min	51 min	62 min	48 min	19 min
Posicionamento	NAV N	23 min	5 min	24 min	30 min	34 min	77 min	536 min
Movimento	NAV	5 min	0 min	26 min	1 min	8 min	68 min	244 min
Valor Acrescentado	AV	51 min	15 min	46 min	100 min	162 min	233 min	705 min
Interrupção e troca de trabalho	NAV	3 min	0 min	13 min	50 min	108 min	134 min	112 min
Total		87	34	120	246	378	864	1640

A análise por QC permite identificar em que circunstâncias os desperdícios temporais ocorrem durante a produção como ilustra a Tabela 10.

O resultado das cronometragens realizadas aos postos de trabalho que resultaram na contabilização dos tempos absolutos por tarefa em cada QC encontra-se na Tabela 10. **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** A partir desta tabela é possível identificar os pontos críticos em cada QC, isto é, as tarefas mais demoradas e que não acrescentam valor ao produto, indicando assim oportunidades de melhoria.

O tipo de operações e tarefas realizadas em cada QC influencia os principais pontos críticos encontrados nos QCs. Desta forma, provoca divergências do ponto de vista da origem das ineficiências uma vez que, nem todas as tarefas contribuem de igual modo para essas mesmas ineficiências. No caso da soldadura a tarefa com maior contribuição para a ineficiência é o Posicionamento representando 33% do tempo total produtivo neste posto. Para o QC-Serralharia devido à especificidade e ao tipo de trabalho realizado, a tarefa que maior contributo tem para ineficiência é a Medição e Marcação que representa 38% do tempo total de produção dedicado neste posto.

As tarefas sem valor acrescentado que mais contribuíram para a ineficiência global do processo de produção foram: Posicionamento, Interrupção e troca de trabalho, Medição e marcação e Movimento. Tendo tido o valor percentual de 13%, 7%, 6% e 6% respetivamente.

De acordo com a caracterização de operações realizada, uma das operações que mais contribuiu para o conjunto de tarefas sem valor acrescentado foi a operação de movimentação, com 351 minutos do total de tempo produtivo. O colaborador do posto de preparação foi acompanhado numa das movimentações tendo percorrido 1013 metros aproximadamente, este percurso pode ser visualizado na Figura 22.

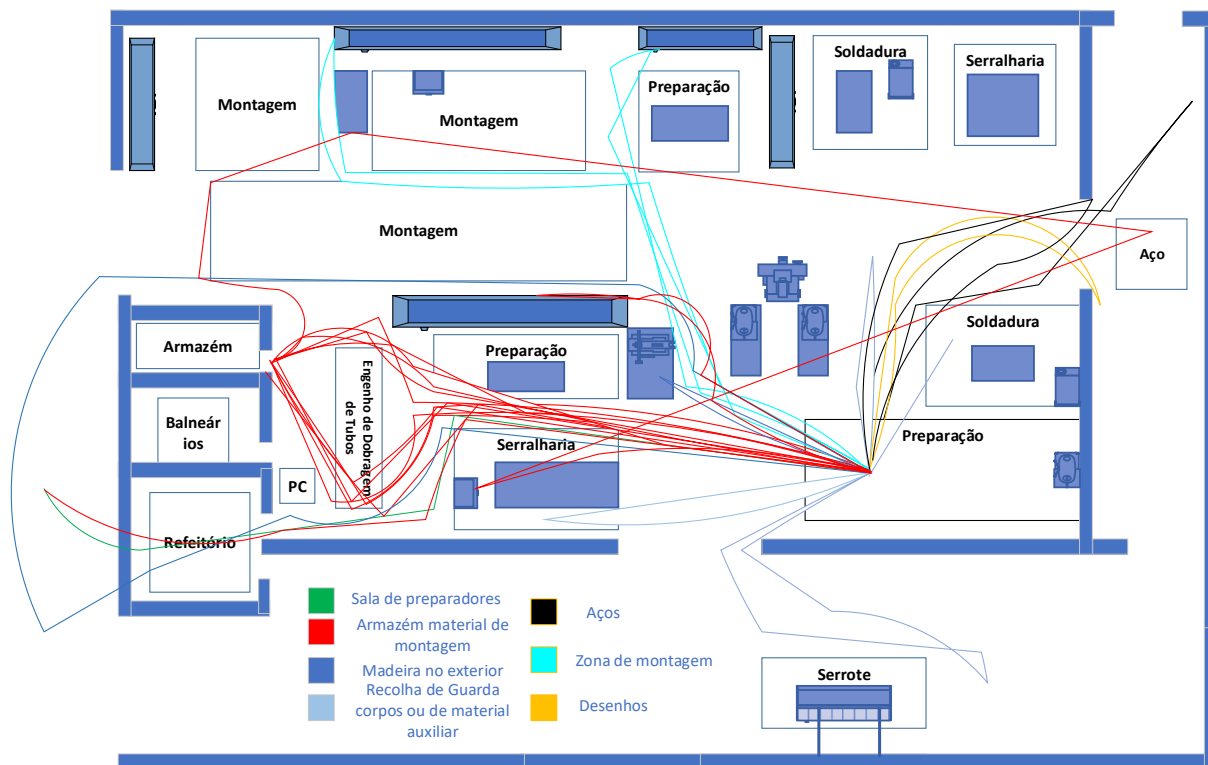


Figura 22-Diagrama esparguete da movimentação do colaborador do posto de preparação

Estas movimentações são associadas a tarefas sem valor acrescentado como por exemplo, procura de ferramentas ou utensílios, esclarecimento de dúvidas relativamente à obra em que estão designados e movimentos no vazio.

Uma vez que as tarefas NAV de toda a produção representam 36% do tempo total produtivo, as mesmas foram analisadas relativamente a cada posto de trabalho. Através da análise do gráfico *Yamazumi* que ilustra apenas o valor percentual das tarefas observadas em cada QC, na Figura 23 é possível identificar que o QC-Serralharia é o que mais contribui com tarefas NAV N têm uma incidência de 54%, dos quais 38% dizem respeito à operação de Marcação e Medição, operação imprescindível neste posto de produção. Dos 17% referentes ao tempo com Tarefas Sem Valor Acrescentado 11% dizem respeito a Interrupções ou mudanças de trabalho. Durante o diagnóstico foi observado que este posto era muitas vezes interrompido devido à necessidade de tirar dúvidas.

O QC-Corte por plasma é o posto com melhor desempenho uma vez que, se trata de um QC com operações e tarefas automáticas. Neste QC o colaborador realiza uma nova tarefa enquanto a máquina de corte por plasma executa o programa pré-definido. Este posto é singular neste sistema de produção uma vez que, os restantes executam tarefas manuais levando a que os seus desempenhos sejam inferiores pois, necessitam do operador e da máquina, dedicados à produção.

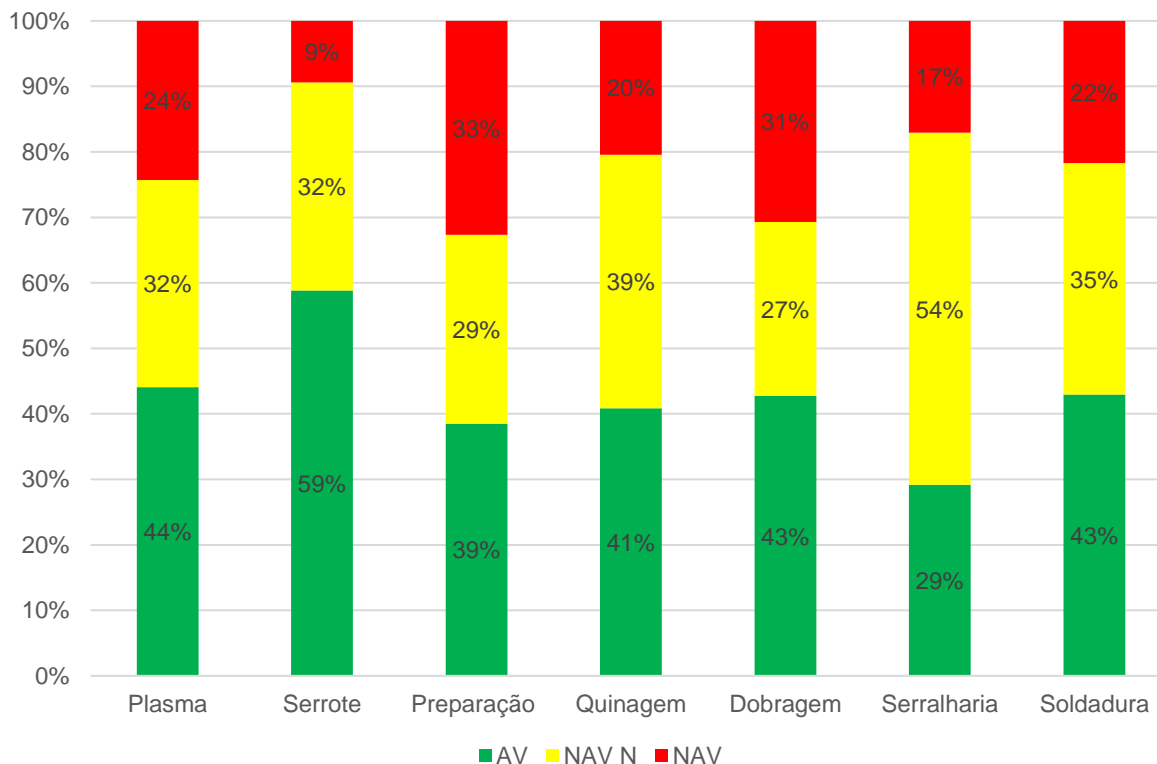


Figura 23-Yamazumi do sistema de produção

Realizou-se uma última análise às esperas entre postos no chão de fábrica. Através das observações instantâneas do sistema de produção em estudo foram contabilizadas o número de obras que aguardavam o seguimento da produção entre postos. Na Tabela 11 encontra-se ilustrada a totalidade de ocorrências observadas em espera entre postos (62).

Tabela 11-Número de esperas entre postos

Nº de Esperas entre postos	62	100%
Serrote-Dobragem	12	19%
Falta de disponibilidade	12	19%
Falta de material	0	0%
Serrote-Serralharia	10	16%
Falta de disponibilidade	7	11%
Falta de material	3	5%
Preparação-Quinagem	4	6%
Falta de disponibilidade	2	3%
Falta de material	2	3%
Quinagem-Serralharia	13	21%
Falta de disponibilidade	11	18%

Falta de material	2	3%
Serralharia-Soldadura	23	37%
Falta de disponibilidade	16	26%
Falta de material	7	11%

Com base na análise realizada a partir da Tabela 11 verifica-se que a falta de disponibilidade do posto seguinte e a falta de material para iniciar a produção são as causas encontradas para que ocorram esperas entre postos. Ao realizar o somatório destas causas obtém-se o valor percentual de 77% e 33% respetivamente.

É possível ainda apurar a partir desta análise que o maior número de esperas encontrado foi entre os postos de Serralharia e Soldadura tendo sido registadas 37% das ocorrências das quais 26% devem-se a faltas de disponibilidade do posto de Soldadura e 11% de falta de material proveniente de postos anteriores para iniciar ou concluir a produção no posto de Soldadura.

3.5.2. Identificação de problemas

A partir da análise de resultados proveniente do diagnóstico ao caso de estudo em questão é possível realizar uma identificação e levantamento de problemas e das suas causas raiz.

Baseado nos resultados do diagnóstico é possível identificar alguns problemas no sistema de produção do caso de estudo:

- Esperas entre postos;
- Ineficiências elevadas nos postos.

Foi aplicada a ferramenta 5 *Whys* para identificar as causas raiz dos problemas identificados previamente através do diagnóstico *Lean*, como se pode verificar através Figura 24.

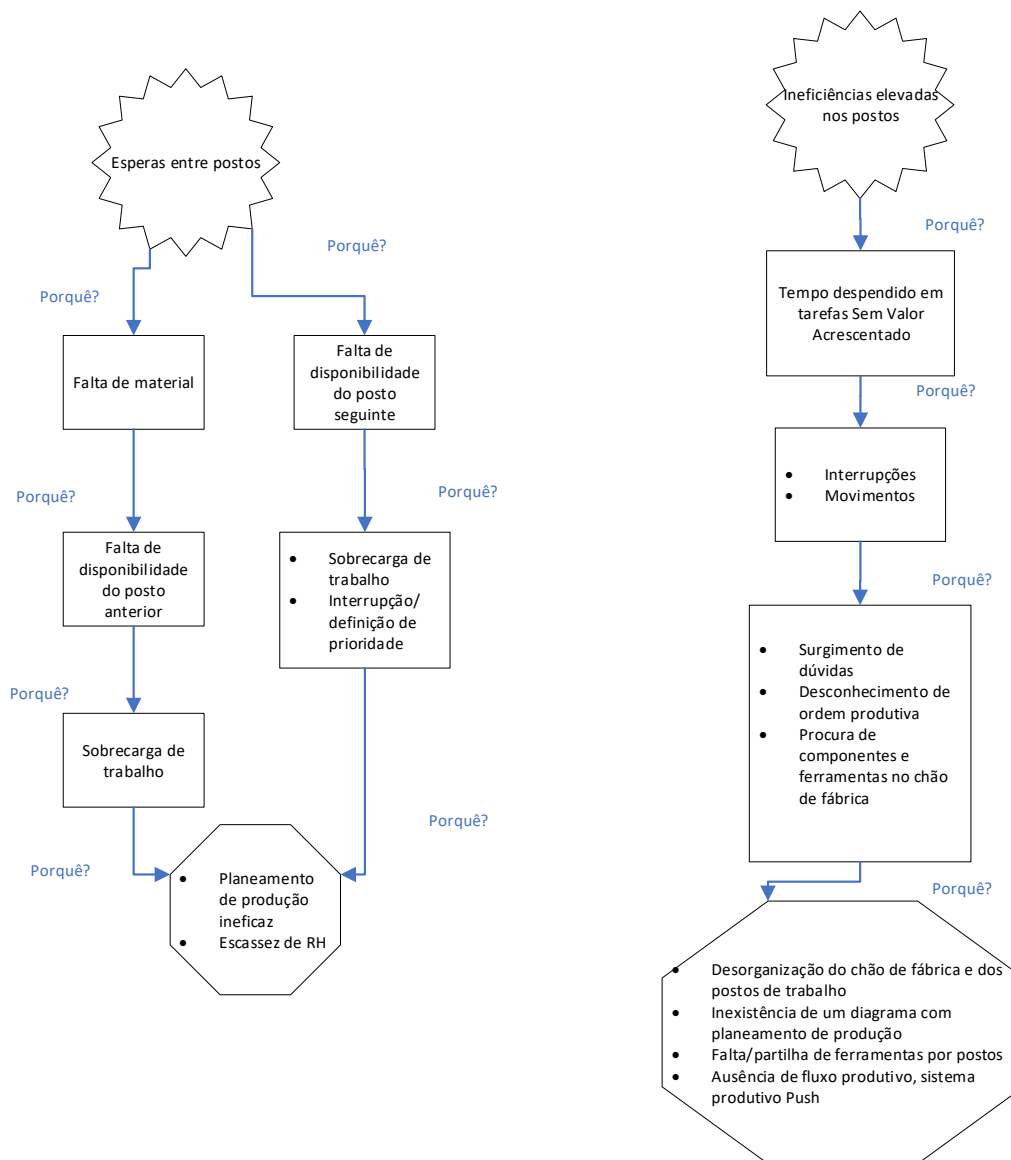


Figura 24-Esquemática da aplicação da ferramenta 5 Whys para determinação das causas raiz dos problemas encontrados no diagnóstico Lean

Um problema identificado na análise Lean são as esperas entre postos. A sua causa raiz incide num planeamento de produção ineficaz e/ou escassez de recursos humanos. Esta causa raiz é originada pela falta de material ou devido à indisponibilidade do posto seguinte. A falta de material deve-se à indisponibilidade do posto anterior ou devido ao trabalho no material em questão estar inconcluso. As causas acima mencionadas ocorrem devido à sobrecarga de trabalho do sistema de produção.

A falta de disponibilidade no posto seguinte acontece devido à priorização de outras obras, o que origina interrupções e trabalhos incompletos. A sobrecarga de trabalhos revela-se também uma causa para o problema mencionado. Esta deve-se ao excesso de obras em produção no chão de fábrica.

A causa raiz identificadas das esperas entre postos tem origem na ineficácia do planeamento e insuficiência de recursos humanos.

Um outro problema identificado relaciona-se com significativas ineficiências nos postos, relacionadas com as tarefas realizadas. Estas ineficiências têm maior impacto devido ao tempo despendido em tarefas Sem Valor Acrescentado. As tarefas com maior responsabilidade por estas ineficiências são as de movimentação e interrupção e trocas de trabalho com origem em variados fatores, tais como: a existência de dúvidas devido ao desconhecimento do plano produtivo ou relativamente à execução das tarefas produtivas e à procura de ferramentas ou componentes no chão de fábrica. As causas raiz deste problema são a desorganização encontrada por posto e no chão de fábrica, à falta ou partilha de ferramentas entre postos, à existência de falhas de comunicação entre postos. Assim como devido à inexistência de uma gestão visual que permita identificar a ordem e planeamento produtivo e por último, à inexistência de um fluxo de produção bem definido devido ao sistema de produção funcionar segundo um sistema *Push*.

3.5.3. Conclusões da análise *Lean*

A elaboração de uma análise *Lean* focada nas métricas da gestão visual permite à empresa ter conhecimento do estado atual do sistema de produção.

O diagnóstico segundo os conceitos *Lean* permite identificar os aspetos críticos da produção, e encontrar as causas raiz dos problemas decorridos durante o processo de produção. No entanto, não estabelece relação entre os desperdícios encontrados e eventuais custos de produção.

Os resultados obtidos permitem identificar ineficiências através da avaliação do desempenho do sistema de produção bem como, identificar quais as tarefas que contribuem para o custo total a melhoria do sistema de produção.

Foram encontrados 4 problemas principais que impossibilitam uma produção mais eficiente. Agregados a esses problemas identificaram-se as suas causas raiz, que se encontram apresentadas na Tabela 12. Em suma através de um diagnóstico *Lean* foi possível fazer uma caracterização do sistema de produção e analisá-lo do ponto de vista do desempenho operacional através da Tabela 12.

Tabela 12-Problemas e causas raiz

Problemas	Causas raiz
Esperas entre postos	<ul style="list-style-type: none"> • Planeamento produtivo ineficaz;
Operações de fabrico realizadas em postos inadequados	<ul style="list-style-type: none"> • Planeamento produtivo ineficaz; • Indisponibilidade de postos – Sobrecarga produtiva; • Recursos humanos insuficientes;
Retrabalho e <i>Loop</i> entre postos	<ul style="list-style-type: none"> • Configuração ineficiente de <i>layout</i>; • Falta de material concluído por posto anterior; • Inexistência da definição do fluxo de produção; • Planeamento produtivo ineficaz;
Ineficiências dos postos de produção	<ul style="list-style-type: none"> • Demasiado tempo despendido em tarefas Sem Valor Acrescentado (com e sem necessidade); • Desorganização dos postos e do chão de fábrica; • Tipo de tarefas produtivas (manuais); • Inexistência de ferramentas necessárias por posto; • Planeamento produtivo ineficaz; • Inexistência de fluxo de produção

3.6. Conclusões da utilização simultânea de um diagnóstico MFCA-Lean

O diagnóstico MFCA permite identificar e distinguir as quantidades de material utilizadas na produção das quantidades desperdiçadas, relacionando-as com os custos associados à atividade produtiva.

O diagnóstico *Lean* centra-se na identificação de desperdícios de materiais (matéria-prima, materiais auxiliares e consumíveis) ou de tempo (tempo de produção, de esperas e de movimentação). O que obriga a uma medição, uma caracterização e observação detalhada do sistema de produção. Esta análise de desempenho procura identificar todos os desperdícios relacionados com os tempos produtivos e as suas tarefas identificando assim problemas produtivos.

Ambos os diagnósticos fornecem à empresa uma ideia inequívoca do seu sistema atual de produção, focando-se em aspetos distintos. Enquanto o *Lean expõe aspetos relacionados com o desempenho em cada QC*, o *MFCA evidencia os custos envolvidos em cada QC*, permitindo assim à empresa tomar decisões de implementação de melhoria do sistema atual.

A combinação de conhecimento com o custo de desperdício em tarefas Sem Valor Acrescentado ao produto final.

Para além dos resultados referidos anteriormente é ainda possível, aumentar o nível de conhecimento relacionando a análise de desempenho com a análise de custo, como demonstra a Tabela 13. Nesta tabela são apresentados dados provenientes da informação extraída dos dois diagnósticos MFCA e Lean. Através do relacionamento dos tempos das tarefas produtivas e do VSM com os custos de serviços associados a cada QC. É possível retirar os valores monetários associados a cada tipo de tarefa e em cada QC, obtendo-se assim nos resultados em custos.

Tabela 13-Custo associado ao tipo de tarefas produtivas

Posto	AV	AV %	AV €	NAV N	NAV N %	NAV N €	NAV	NAV %	NAV €	Espera	Espera %	Espera €
Serrote	15	44%	4 €	11	32%	3 €	8	24%	2 €	-	-	-
Espera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1086	47%	-
Plasma	51	59%	38 €	28	32%	21 €	8	9%	6 €	-	-	-
Preparação	46	38%	12 €	35	29%	9 €	39	33%	10 €	-	-	-
Espera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	285	12%	-
Quinagem	100	41%	54 €	95	39%	52 €	50	20%	27 €	-	-	-
Espera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96	4%	-
Dobragem	162	43%	47 €	100	26%	29 €	116	31%	34 €	-	-	-
Serralharia	233	27%	77 €	429	50%	142 €	202	23%	91 €	-	-	-
Espera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	861	37%	-
Soldadura	705	43%	229 €	579	35%	188 €	356	22%	116 €	-	-	-
Total	1312	23%	463 €	1277	22%	445 €	779	14%	286 €	2328	41%	29 €

Verificou-se que relativamente às tarefas NAV e NAV N, existem custos de produção avultados que através da análise consideraram-se tempo produtivo desperdiçado e, desta forma necessitam de uma melhoria para uma redução desses mesmos tempos e reduzir assim os custos associados. Associado às tarefas mencionadas anteriormente identificou-se um custo de 759,66€ o que representa 62% do custo de sistema ao longo da produção. Em contrapartida o valor agregado ao produto associado às tarefas de VA representa 38% do custo investido.

O QC Soldadura apresenta um maior custo de serviço envolvido quando comparado com os restantes. 43% do custo investido neste QC está associado a tarefas de AV ao produto sendo que, dos restantes 57% 35% estão associados a tarefas NAV N com o valor de 188,18€. Os restantes 22% com o valor de 115,70€ estão relacionados a tarefas NAV.

Em suma, a conclusão desta análise coincide com as informações encontradas na revisão bibliográfica. Conclui-se que ao aliar estas duas ferramentas de diagnóstico é possível alcançar uma visão mais detalhada da realidade do sistema de produção, agrupando uma análise de eficiência a uma análise de custos. Embora este tipo de combinação seja vantajoso, também se encontram dificuldades na sua aplicação, pois trata-se de um estudo complexo. Ainda não existe uma metodologia definida e validada para a realização de uma análise deste género assim como, não existe uma experimentação da mesma a outros ramos industriais para além dos mencionados na revisão bibliográfica. Para a realização desta análise é necessária uma grande coordenação dos vários sectores das empresas e de uma definição concreta dos limites do estudo pois, este tipo de análise requer um intervalo de tempo bastante longo.

Na Tabela 14 estão explicitadas as vantagens e desvantagens da utilização de técnicas de diagnóstico *Lean* e MFCA e adicionalmente a reflexão da utilização de ambas num diagnóstico:

Tabela 14- Vantagens e Limitações da utilização dos diferentes métodos

Diagnóstico MFCA	Diagnóstico Lean
Vantagens	
<ul style="list-style-type: none"> Aferir a eficiência da utilização do material utilizado. 	<ul style="list-style-type: none"> Identificar ineficiências, avaliando o desempenho operacional do sistema de produção (<i>bottleneck</i>, fluxo, etc)
<ul style="list-style-type: none"> Localizar o posto ou o processo onde ocorre o desperdício de material e o maior custo com esse desperdício. 	<ul style="list-style-type: none"> Caracterizar as tarefas por posto como tarefas de valor ou sem valor acrescentado.
<ul style="list-style-type: none"> Acompanhar a valorização do produto (do material ao longo do fluxo de valor). 	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar todos os tipos de desperdício, o que significa uma oportunidade de melhoria (<i>Muda</i>)
<ul style="list-style-type: none"> Identificar processos que necessitem de melhoria, mas de uma forma indefinida. 	<ul style="list-style-type: none"> Identificar processos que podem ser melhorados, de acordo com o tempo utilizado, em tarefas de valor acrescentado e sem valor acrescentado.
Limitações	
<ul style="list-style-type: none"> Não considera outro desperdício à exceção do material, embora os custos reflitam potenciais problemas dos processos. 	<ul style="list-style-type: none"> Não existe ferramenta Lean dedicada aos custos e ao desperdício no fluxo de massa.
<ul style="list-style-type: none"> Necessita de dados completos fornecidos pela empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> Identificar como posto crítico aquele que é <i>bottleneck</i> do fluxo do produto, e não onde há custo.
<ul style="list-style-type: none"> Não permite avaliar a eficiência do posto, nem identifica as causas da ineficiência, sem recurso a outra técnica/ferramenta de análise. 	<ul style="list-style-type: none"> Não permite saber o impacto de melhoria em termos de redução de custos.

Conclui-se que a combinação das filosofias *Lean Management* e o método MFCA permite avaliar o sistema de produção com grande detalhe. Expondo através do método contabilístico as eficiências dos consumos de material ao longo da produção, assim como expõe o desempenho ao longo de todo o sistema. Conclui-se ainda que a união destas duas ferramentas possibilita a identificação de problemas e das suas causas raiz de forma a suportar qualquer medida de melhoria do mesmo sistema de produção.

Na Tabela 15 encontram-se sintetizadas as vantagens e limitações da união dos dois diagnósticos.

Tabela 15- Vantagens e Limitações de um diagnóstico MFCA-Lean

Diagnóstico MFCA-Lean
Vantagens
<ul style="list-style-type: none"> Avaliar a eficiência dos postos: avaliar a performance produtiva em conjunto com os custos associados.
<ul style="list-style-type: none"> Identificar as quantidades de desperdício de material, sistema e energia; e uma elucidação acerca dos custos envolvidos.
<ul style="list-style-type: none"> Analisar o desperdício de tempos produtivos associados a tarefas sem valor acrescentado, e identificar os custos agregados a esses desperdícios.
<ul style="list-style-type: none"> Identificar problemas no fluxo de produção, como por exemplo <i>bottlenecks</i>.
<ul style="list-style-type: none"> Ter um conhecimento preciso do valor do produto e da sua valorização em cada etapa do sistema de produção.
<ul style="list-style-type: none"> Analisar rigorosamente o sistema de produção atual.
<ul style="list-style-type: none"> Através do método contabilístico desta análise é possível ter apoio nas várias decisões, para a implementação de soluções.
Limitações
<ul style="list-style-type: none"> Análise extensa e exige recolha de informação significativa, durante um tempo longo.
<ul style="list-style-type: none"> A existência de bastantes dados leva a um tempo de análise longo
<ul style="list-style-type: none"> É necessária a coordenação de vários setores da empresa para que a recolha de dados seja feita da melhor forma.
<ul style="list-style-type: none"> Disponibilização de dados da empresa para a análise.

Em suma, através desta análise é possível verificar a complementaridade dos dois métodos, aliando uma análise do consumo de material e do desempenho operacional, baseado no estudo dos tempos produtivos e nos tempos dedicados a cada atividade, de acordo com a sua tipologia e ainda numa análise de custos. Assim, obtém-se um diagnóstico completo que suporta com informações detalhadas as medidas que visam obter a melhoria do sistema de produção. No entanto, verificou-se que este diagnóstico devido à sua complexidade e quantidade de dados e informações recolhidas, exige um esforço de todos os setores da empresa. Implicando uma longa duração do período de análise.

3.7. Soluções e estimativa de melhoria para problemas identificados

As soluções de melhoria não são desenvolvidas em detalhe nesta dissertação uma vez que não é um dos objetivos deste trabalho. No entanto neste capítulo são apresentadas algumas soluções de melhoria para os problemas anteriormente identificados. Realizou-se ainda uma breve análise ao impacto que estas possam ter no sistema de produção caso sejam implementadas.

A partir dos diagnósticos realizados foi possível concluir as causas raiz dos problemas encontrados no sistema de produção. Na

Tabela 16-Síntese de problemas encontrados e possíveis melhorias Tabela 16 é apresentada uma breve síntese dos problemas e das causas raiz e ainda, algumas melhorias que podem ser implementadas de forma a reduzir as limitações e constrangimentos encontrados no sistema de produção durante

Problemas	Causas raiz	Melhoria
Esperas entre postos	<ul style="list-style-type: none"> •Planeamento produtivo ineficaz; 	<ul style="list-style-type: none"> • Criação de mecanismos de arranque de obras – minimizar esperas; • Redefinição de postos; • Centralização de consumíveis e utensílios, reorganização do armazém de materiais; • Redefinição de <i>layout</i>; • Criação de mapa de obras em curso e <i>pipelines</i> de obras em espera – Definição de lógicas de planeamento; • Reuniões diárias/semanais – Definição da lógica de gestão produtiva; • Alteração de fornecedor ou do design da matéria-prima. • Aplicação de ferramentas 5S para eliminar desperdícios
Operações de fabrico realizadas em postos inadequados	<ul style="list-style-type: none"> •Planeamento produtivo ineficaz; •Indisponibilidade de postos – Sobrecarga produtiva; •Recursos humanos insuficientes; 	
Retrabalho e <i>loop</i> entre postos	<ul style="list-style-type: none"> •Configuração ineficiente de <i>layout</i>; •Falta de material concluído por posto anterior; •Inexistência da definição do fluxo de produção; •Planeamento produtivo ineficaz; 	
Ineficiências dos postos de produção	<ul style="list-style-type: none"> •Demasiado tempo despendido em tarefas Sem Valor Acrescentado (com e sem necessidade); •Desorganização dos postos e do chão de fábrica; •Tipo de tarefas produtivas (manuais); •Inexistência de ferramentas necessárias por posto; •Planeamento produtivo ineficaz. 	
Desperdícios de material	<ul style="list-style-type: none"> •Quantidade e design de matéria-prima encomenda – Fornecedor. 	
Avultado custo de serviços em alguns QC	<ul style="list-style-type: none"> •Planeamento produtivo ineficaz; •Escassez de recursos humanos. 	

diagnóstico.

Tabela 16-Síntese de problemas encontrados e possíveis melhorias

As previsões do impacto da implementação das ações de melhoria no sistema de produção atual são bastante significativas. Prevê-se que com as medidas de redefinição de *layout* e a promoção do funcionamento da produção segundo um sistema pull, seja possível criar áreas de trabalho para novos QC. A redefinição de layout em conjunto com uma reorganização dos postos existentes do armazém de materiais e ainda, uma redefinição de lógicas de planeamento e de gestão produtiva com o auxílio de elementos de gestão visual é possível reduzir custos e o tempo produtivo de tarefas NVA em cerca de 36%. O que se traduz numa redução de 103€ de custos de sistema e 142 minutos relativos ao tempo de produção.

A tomada de decisão da alteração de fornecedor ou do design da matéria-prima estima-se que resulte numa redução de material desperdiçado e de stock de 13% o que representa uma redução de custos de 212€.

A diminuição de esperas com a aplicação das soluções apresentadas incide-se principalmente nas faltas de disponibilidade, com a aplicação destas medidas prevê-se uma redução de cerca de 69% passando de 48 ocorrências para 15.

4. Diagnóstico quick-MFCA-Lean

Através do que foi concluído no capítulo 3 foi possível distinguir as principais vantagens e limitações dos dois diagnósticos apresentadas na Tabela 14. Verificou-se que os diagnósticos podem complementar-se, aliando uma análise do desempenho operacional baseado no estudo dos tempos produtivos e nos tempos dedicados a cada tarefa, de acordo com a sua tipologia e ainda numa análise de custos. Assim obtém-se um diagnóstico completo que suporta com informações detalhadas as medidas que visam obter a melhoria do sistema de produção. No entanto, analisando o esforço necessário e a longa duração do diagnóstico MFCA-Lean verificou-se que este pode exigir um esforço elevado. Foram necessários cerca de 3 meses até à obtenção da caracterização do sistema de produção bem como, o escrutínio dos dados da análise e a identificação dos problemas detetados no caso de estudo.

Um dos objetivos desta dissertação é propor uma abordagem simplificada da ferramenta de diagnóstico MFCA-Lean. Essa abordagem consiste no desenvolvimento de um método de diagnóstico desenhado com o objetivo de avaliar o sistema de produção, de forma a que os resultados permitam identificar os pontos críticos principais da produção, e sirvam, ainda de suporte para a implementação de medidas de melhoria. A aplicação deste diagnóstico comparativamente ao aplicado no caso de estudo anterior implica uma diminuição do esforço de todos os envolvidos no diagnóstico, tornando este diagnóstico mais rápido sem colocar, por isso, em causa os resultados da análise.

4.1. Abordagem de diagnóstico quick-MFCA-Lean

A abordagem proposta tem como objetivo criar um método tendencialmente o de diagnóstico rápido integrando a metodologia MFCA a uma metodologia *Lean*, de forma a obter uma análise rápida e mais completa do sistema de produção com a designação de quick-MFCA-Lean (*qMFCA-Lean*).

A partir do diagnóstico podem ser tomadas medidas que apontem à melhoria da produção, utilizando ferramentas *Lean* selecionadas de acordo com os resultados obtidos

A aplicação desta abordagem deve ser realizada por uma equipa que tenha conhecimento dos conceitos MFCA e *Lean*. Para que se cumpram todos os critérios que permitem obter um diagnóstico válido e que corresponda à realidade produtiva da empresa. Esses critérios são os seguintes:

- Conhecimento da abordagem e das suas capacidades;
- Colaboração entre os departamentos da empresa e a equipa que realiza o diagnóstico;
- Caracterização do sistema de produção;
- Caracterização das tarefas produtivas;

- Medição e recolha de dados de QC/postos que estejam incluídos no sistema de produção definido;
- Uma análise cuidada dos dados recolhidos.

Para obter um diagnóstico fidedigno devem ser cumpridos os critérios necessários para a realização da abordagem e seguirem-se as etapas que constituem a abordagem qMFCA-*Lean*. Estas são as seguintes:

- Definição de objetivos e limites da análise:
 - A empresa deve definir os objetivos e limites da análise assim como as metas produtivas de acordo com a sua estratégia produtiva, por exemplo: redução de custos de produção, redução do consumo energético e de desperdícios de material, ou ainda a redução de recursos humanos.
- Aplicação da metodologia e recolha de dados:
 - Aplicação das metodologias MFCA e *Lean* ao sistema de produção definido e recolha de dados relacionados com o mesmo.
- Mapeamento de processos e construção do modelo contabilístico e de performance:
 - Procedimento de cálculos de acordo com os objetivos definidos e com base nos resultados recolhidos.
 - Análise de desempenho consoante o mapeamento obtido do sistema de produção.
- Análise de resultados – Análise comparativa de resultados das análises:
 - Definição de aspetos críticos do sistema de produção – QC com maiores custos associados ao desperdício ou QC com uma performance negativa e mais distante do objetivo.

O diagnóstico termina assim que se realize a análise de resultados. Após essa análise são retiradas conclusões, identificando os problemas e apurando as suas causas raiz. De seguida inicia-se o planeamento de implementação de medidas corretivas e de melhoria do sistema de produção.

Após a implementação das soluções de melhoria, as etapas da metodologia devem ser refeitas de forma a reavaliar o sistema de produção e, caso surja necessidade de aplicar novas medidas corretivas complementares às anteriormente implementadas com o intuito de atingir as metas desejadas. Consequentemente um novo ciclo de melhoria é iniciado e incide-se na melhoria contínua da produção de forma incremental, para este tipo de resultados a aplicação do ciclo PDCA é fundamental.

4.1.1. Definição de objetivos e limites da análise

Esta definição é fundamental para a realização deste tipo de diagnóstico, uma vez que esta definição influencia a duração da análise, o número de QC/postos a serem avaliados, o número de observações realizadas, a periodicidade de recolha de informação do chão de fábrica bem como o planeamento de realização da análise.

A definição dos objetivos de acordo com o planeamento estratégico da empresa é a primeira etapa da aplicação do método. Em qualquer empresa existem objetivos ou compromissos produtivos em

conformidade com a sua estratégia, como por exemplo: “Possuir uma produção orientada para a produção sustentável” ou “Tornar a empresa mais rentável reduzindo os custos no próximo triénio”. De acordo com o tipo de objetivos da empresa são definidas novas metas de acordo com a metodologia, a título de exemplo: “Reduzir os desperdícios materiais e energéticos no posto A em 25%” ou ainda “Aumentar a capacidade do sistema de produção em 10%”. Concluindo são os objetivos específicos que atribuem valores ou percentagens à melhoria produtiva. Os resultados da definição desses objetivos dependem da indústria onde se inserem, no entanto, podem representar uma redução da despesa, bem como um aumento produtivo logo, um aumento do lucro para a empresa.

A empresa deve ainda definir onde a metodologia é aplicada, ou seja, definir os limites da análise por exemplo: um QC, uma linha produtiva, uma produção específica de um produto ou de todo o sistema de produção.

A capacidade de resposta e o sucesso desta análise dependem dos fatores definidos e mencionados no paragrafo anterior pois, estes são os principais responsáveis pela delimitação da complexidade e da duração da análise.

4.1.2. Aplicação da abordagem e recolha de dados

A abordagem *quick* pretende integrar dois métodos num, pelo que a metodologia proposta tem por base as metodologias anteriormente descritas aquando da análise do caso de estudo.

As metodologias MFCA e *Lean* devem ser aplicadas consoante a caracterização do sistema de produção e dos limites da análise definidos pela empresa. Na abordagem proposta é respeitada a sequência de etapas referidas nas metodologias anteriores, no entanto, existem etapas intermédias que permitem obter uma sinergia entre as duas análises. As etapas sugeridas para a metodologia proposta são as seguintes:

- Envolvimento das áreas de gestão da empresa
 - As áreas de gestão da empresa devem ter conhecimento da utilidade do método MFCA em alcançar os objetivos da empresa.
 - Uma vez tendo o conhecimento da metodologia MFCA deve ser providenciada toda a informação necessária para a análise: informação de produção que esteja a ocorrer no momento ou dados referentes a produções realizadas em períodos anteriores, mas que sejam da mesma tipologia da produção analisada. Esta informação deverá conter por exemplo: custos envolvidos, quantidades de material utilizados, etc...
- Caracterização do sistema de produção
 - Os limites da análise assim como o sistema de produção definido devem ser respeitados e bem estabelecidos pois, o período de análise irá depender da sua definição. Esta definição pode ser do sistema de produção completo ou uma parte representativa do sistema de produção que se deseja analisar. Por sua vez quanto maior o sistema em análise maior será o período necessário para concretizar a mesma.
- Definição de QC

- O sistema é dividido em processos onde ocorrem transformação de material ou onde é armazenado ou ainda caso implique desperdício de material onde é realizado o controlo de qualidade.
- Identificação de *inputs* e *outputs* em cada QC e caracterização das operações realizadas durante a produção. Esta identificação é realizada durante a observação do posto. Realiza-se uma estimativa das quantidades de material convertido em produto ou desperdício. Ainda é realizada uma distinção das tarefas realizadas no posto.
 - É feita uma definição dos *inputs* e *outputs* em cada QC. Por exemplo os *inputs* geralmente podem ser quantidades de material ou quantidades de energia consumidas por processo. No caso dos *outputs* são consideradas as quantidades de material, energia desperdiçada ou o que se relacione com material perdido.
 - É estabelecida uma distinção das operações em tipo de tarefas (NVA, AV e NVA N) de acordo com a metodologia SID.
- Quantificação de fluxos envolvidos com a produção em unidades físicas e recolha de informações relacionadas com a performance em cada QC
 - Os dados recolhidos referentes aos fluxos mássicos e energéticos devem estar em unidades físicas. É ainda realizado um levantamento dos tempos produtivos em cada QC.
 - Os dados recolhidos relativamente à performance em cada QC podem por exemplo ser: quantidades de material, energia recursos humanos, esperas, tempos de *setup*, transporte, tempos de paragem, etc.
- Quantificação de custos relacionados com a atividade produtiva (fluxo mássico e energético e tarefas relacionadas com a produção)
 - As quantidades físicas envolvidas nos fluxos mássico e energético são convertidas em unidades monetárias;
 - Quantificação de custos relacionadas com tarefas, esperas, etc...

A forma sugerida para efetuar a recolha de dados utilizados na realização desta análise é apresentada na Tabela 17. No entanto salienta-se o facto de o tipo de dados apresentados bem como, a sua obtenção varia consoante a realidade de cada empresa ou indústria. Estima-se por exemplo que para uma empresa que pretenda analisar o seu sistema de produção e que da sua caracterização façam parte cerca de 5 QC/postos com o mesmo número de pessoas, a realização deste diagnóstico seja possível de alcançar em cerca de 1 dia e meio produtivo.

Tabela 17-Exemplos de tipo de dados retirados de um sistema de produção e sua obtenção

	Tipo de dados	Forma de obtenção
MFCA	<ul style="list-style-type: none"> Quantidade de material [kg] Quantidade de energia consumida [kw] Tempo produtivo dedicado em cada QC [h] Custo de material [€/kg] Custo energético [€/kw] Custo de serviços: <ul style="list-style-type: none"> Custo por colaborador [€/h] Custo por operação [€/h] Outros 	<ul style="list-style-type: none"> A empresa deve facultar este tipo de dados, muitos deles encontram-se registados em base de dados ou em notas de encomenda. Caso a empresa não apresente registo de consumos de material ou energia, sugere-se fazer um levantamento no QC das quantidades de: <ul style="list-style-type: none"> Material através da medição do volume Leitura de consumo de potências das máquinas envolvidas Observações no chão de fábrica: <ul style="list-style-type: none"> Estimar através da medição do volume de 5 a 10 componentes, a quantidade de material que entra no QC e que sai.
Lean	<ul style="list-style-type: none"> Tempos de tarefas produtivas [h ou min] Tempos de <i>setups</i> e <i>changeovers</i> [h ou min] Tempos de esperas [h ou min] Número de esperas Outros 	<ul style="list-style-type: none"> Observações no chão de fábrica: <ul style="list-style-type: none"> Observação e medição entre 10 a 30 ciclos produtivos, caso as operações tenham a duração de alguns segundos, a observação deve ser de 1 hora por QC. Observação e medição de 2 a 3 vezes do período de <i>changeover</i> ou alteração de <i>setup</i>. Observação e quantificação de unidades ou projetos em espera, mínimo 1 vez e se possível repetir a observação 3 a 4 vezes mediante o período de análise. Observação organizativa de cada posto, mínimo 2 vezes no período de análise. Entrevistas informais a cada colaborador envolvido no sistema de produção em análise.

4.1.3.Mapeamento de processos e construção do modelo contabilístico e de desempenho

Os cálculos foram realizados através da combinação do modelo de cálculo típico MFCA, da caracterização das tarefas produtivas e do seu valor de tempo produtivo.

Como abordado anteriormente do modelo contabilístico MFCA fazem parte as informações relacionadas com custos associados aos fluxos mássicos e energéticos. Permitindo assim, obter como *outputs* os custos agregados ao produto e desperdício de forma a avaliar o estado do sistema de produção em questão.

A abordagem *quick-MFCA-Lean* acrescenta ao modelo de cálculo original informações relevantes do ponto de vista temporal que, permitem assim analisar a performance do sistema de produção e ainda aprofundar conhecimento acerca dos custos envolvidos com tarefas que não acrescentam valor ao produto.

Para a elaboração do modelo de cálculo são sugeridos os seguintes procedimentos:

1. Material
 - a. Converter as quantidades de material em unidades monetárias e adicioná-las como *input* ao 1º QC;
 - b. Diferenciar os custos de material de *input* e de *output* em cada QC segundo a proporção de quantidade de produto ou desperdício obtidos;
 - c. Calcular o rácio entre produto e desperdícios;
 - d. Identificar e calcular os custos referentes a materiais auxiliares e atribuí-los a cada QC.
2. Energia
 - a. Calcular o custo energético consumido em cada QC;
 - b. Alocar dos custos energéticos de cada QC de acordo com o rácio entre produtos e desperdícios.
3. Sistema
 - a. Calcular o custo por colaborador em cada QC;
 - b. Calcular o custo de espaço dedicado a cada QC;
 - c. Calcular o custo do equipamento em cada QC;
 - d. Alocar dos custos de sistema de cada QC de acordo com o rácio entre produtos e desperdícios.
4. Calcular o custo de produto e de desperdício de cada QC.
5. Calcular os custos relacionados com a performance de cada QC
 - a. Calcular o rácio entre tempo produtivo e os diferentes tipos de tarefas (AV, NVA N, NVA);
 - b. Calcular os custos referentes a cada tipo de tarefas em cada QC.

Seguindo este procedimento, obtém-se a matriz de custo e performance associada a cada QC, ao fazermos este cálculo em todos os QC conhece-se a matriz total de custos e a performance global do sistema de produção em estudo.

Tabela 18-Exemplo de uma matriz de custo e performance associada a um QC

QC - A					
			Por produção		
Input	Input do novo sistema de produção	QC anterior	- €		%
		Material	- €	%	%
		Energia	- €	%	
	Sistema	- €	%		
Output		Produto	- €		%
		Desperdício	- €		%
Tempo dedicado			0,00 h		
Tarefas NVA			0,00 h	- €	%
Tarefas NVA N			0,00 h	- €	%
Tarefas AV			0,00 h	- €	%

Na Tabela 18 é apresentado um exemplo de matriz de custo e de performance. Esta encontra-se dividida em duas áreas, uma referente aos dados MFCA e outra aos dados *Lean*. Nesta tabela encontra-se disponibilizada informação fundamental de cada QC para a análise de dados. Do ponto de vista MFCA é possível identificar a alocação dos custos investidos em produto ou desperdício, e é ainda possível distinguir a contribuição percentual de cada *input*. Relativamente ao *Lean* identifica-se a percentagem de tempo utilizado em cada tipo de tarefa, e assim é possível relacionar o tempo utilizado aos custos agregados ao produto.

Através da aplicação da metodologia proposta obtém-se um mapeamento do sistema de produção. Na Figura 25 está ilustrado um exemplo de um VSM simplificado, através deste *output* é possível acrescentar informação sobre o estado atual da produção. Este *output* apesar de apenas utilizar dados referentes ao *Lean* permite relacionar dois tipos de dados recolhidos para a análise: tempos produtivos distinguidos segundo a metodologia SID e o estudo dos tempos de espera.

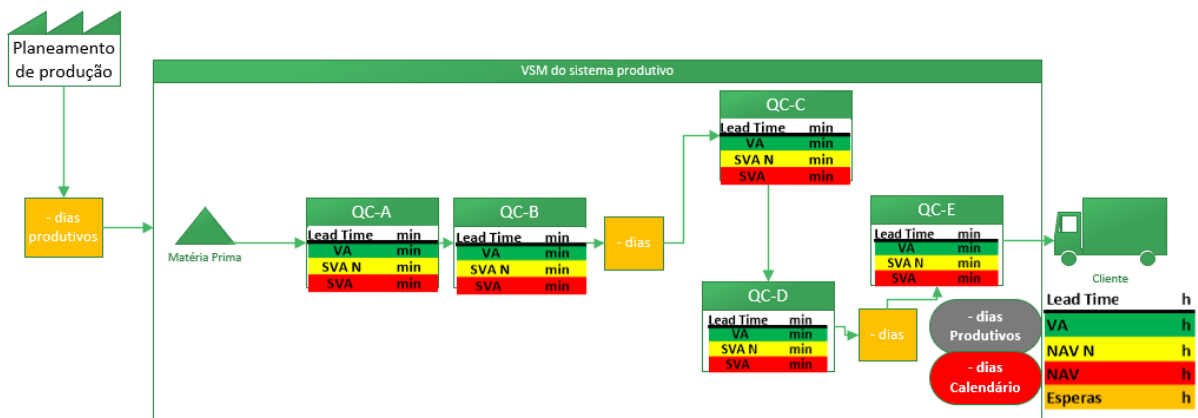


Figura 25-Exemplo de um VSM obtido através da aplicação da metodologia

4.1.4. Análise e exposição de resultados e aplicação de ferramentas *Lean*

Através do diagnóstico é possível extrair vários resultados que possibilitam várias leituras. A forma como são expostos os resultados é também uma forma fundamental de demonstrar os problemas identificados no sistema de produção. Desta forma é exibido uma proposta de *dashboard*, Figura 26 que permite observar os vários resultados em simultâneo e constatar o impacto que representam no sistema de produção e conseqüentemente na produção, bem como, a forma como estes podem limitar o desenvolvimento da empresa. Os resultados presentes no *dashboard* pretendem demonstrar as quantidades de material utilizados, as quantidades desperdiçadas, todos os custos envolvidos na produção, uma síntese da alocação dos custos de produção, a relação dos custos não materiais em cada QC, a valorização do produto ao longo da sua produção, eficiências nos diferentes QC pela qual

a produção teve que passar. No *dashboard* estão ainda indicados o número de ocorrências de esperas e as suas causas encontradas no chão de fábrica.

A partir da análise dos resultados obtidos através do procedimento abordado anteriormente, o analista ou a equipa responsável pela realização do diagnóstico podem seguir várias estratégias de leitura dos resultados. A estratégia sugerida neste trabalho é a seguinte:

- Identificar quais os QC com maiores custos associados ainda que não estejam maioritariamente relacionados com desperdícios;
- Identificar quais os QC onde os custos associados com tarefas NVA e NVA N sejam elevados;
- Identificar quais os QC com maior custo com desperdício;
- Identificar entre quais os QC ocorrem maiores números de esperas;
- Identificar problemas e aspetos críticos do sistema de produção.

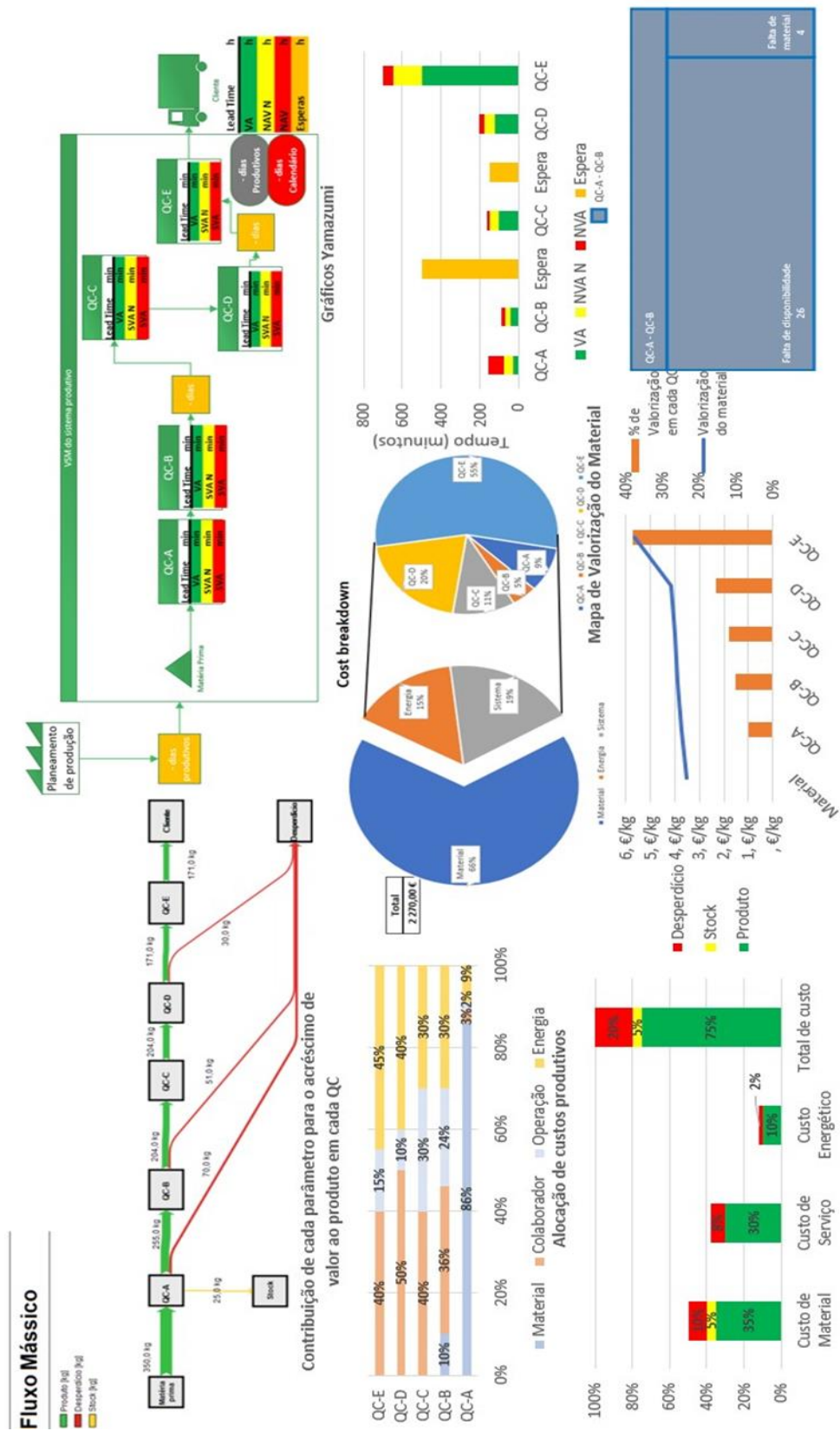


Figura 26- Exemplo de dashboard obtido através da aplicação da abordagem quick-MFCA-Lean

Uma vez encontrados os QC críticos ou os QC que devem ser analisados em detalhe, é aprofundada a procura pela origem do problema ou a razão para que estes se distingam durante a análise. Podem ser aplicadas várias ferramentas *Lean* como as que foram anteriormente mencionadas, um exemplo é a ferramenta *5 whys* que permite identificar as causas raiz de problemas relacionados com a produção.

Uma vez detetados os problemas do sistema de produção, estes podem ser corrigidos ou melhorados através da implementação de soluções de melhoria contínua de acordo com uma estratégia de melhoria bem definida. As ferramentas *Lean* direcionadas para a melhoria contínua devem ser utilizadas para verificarem e controlarem os resultados da melhoria. Na Tabela 19 encontram-se exemplos de alguns tipos de ferramentas *Lean* utilizados para minimizar ou solucionar problemas típicos encontrados na produção.

Tabela 19 - Exemplos de Problemas e ferramentas Lean aplicáveis

Problemas relacionados com:	Possíveis ferramentas Lean utilizadas:
➤ Performance do QC	<ul style="list-style-type: none"> • 5 <i>Whys</i> • 5S
➤ Produtos não conformes	<ul style="list-style-type: none"> • <i>A3-Report</i> • <i>8D – Problem Solving</i>
➤ Tempos de <i>setup</i>	<ul style="list-style-type: none"> • SMED • 5S
➤ Tempos de espera	<ul style="list-style-type: none"> • <i>A3 -Report</i> • <i>8D -Problem Solving</i>

4.2. Aplicação da abordagem quick-MFCA-Lean a um caso de estudo

Esta secção pretende apresentar a aplicação da abordagem *qMFCA-Lean*, a um contexto produtivo real. Para desta forma identificar a sua viabilidade enquanto método de diagnóstico.

Em primeiro lugar foi necessário definir os objetivos e limites da análise de acordo com as políticas, exigências e critérios da empresa. Uma vez definidos, a análise iniciou-se com a definição e caracterização do sistema de produção.

De seguida é apresentada a análise e os resultados obtidos através da realização da aplicação da metodologia bem como, os problemas e as causas raiz identificados durante a realização da mesma.

4.2.1. Definição de objetivos e limites da análise

A primeira etapa desta abordagem de diagnóstico é a definição dos objetivos e limites da análise. Esta tarefa é da responsabilidade da empresa a qual definiu como objetivo principal a identificação de desperdícios materiais ou de recursos humanos com o enfoque na sua redução. Por forma a obter um aumento da rentabilidade da produção.

De seguida definiram-se os parâmetros e limites da análise. Identificou-se o tipo de obras que era relevante ser analisado, de acordo com o impacto que a sua produção tem na empresa. Quando

encontrado o alvo da análise caracterizou-se imediatamente o sistema de produção que tem início no processamento da matéria-prima e termina com a entrega do produto ao cliente.

4.2.2. Caracterização do produto e sistema de produção

O tipo de obras abordado neste novo caso de estudo é uma vez mais uma obra produzida exclusivamente em alumínio, pode ser ainda subclassificada como vigamento pesado, este tipo de obra é produzido com relativa frequência pela empresa. Todo o processo de produção decorre dentro da empresa e a sua produção incide nos polos 1 e 2.

Neste tipo de obras a matéria-prima disponível é em forma de chapa ou ainda na forma de barra e tubos de diferentes secções. Na Figura 27 apresentam-se imagens do produto em questão.



Figura 27-Vigamento pesado

O sistema de produção analisado neste caso de estudo apresenta algumas alterações em relação ao sistema do caso de estudo tratado no capítulo 3.

No caso de estudo agora em análise existem algumas diferenças relativamente aos processos envolvidos na produção. Essas diferenças encontram-se nos postos de corte por guilhotina e montagem que não fazem parte do sistema de produção anteriormente analisado. Em contrapartida os postos de dobragem de tubos e corte por plasma não estão inseridos neste novo sistema. Na Figura 28 encontra-se ilustrado o sistema de produção em análise neste caso de estudo.

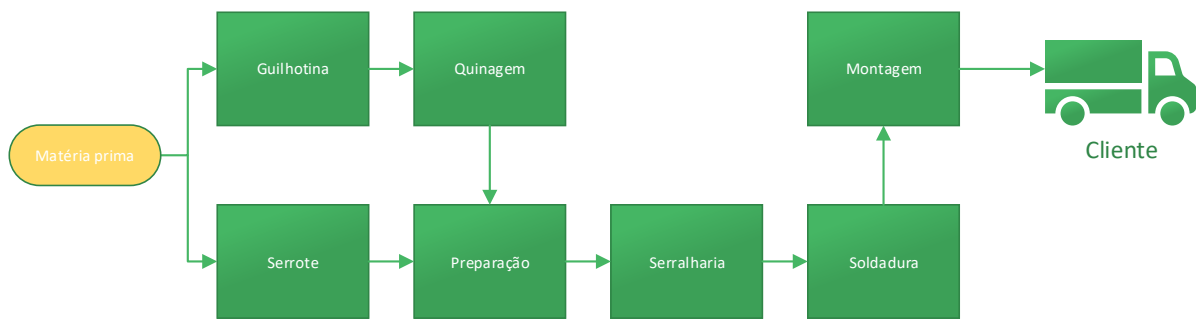


Figura 28-Sistema de produção vigamento pesado

O processamento de material inicia-se nos QC de corte (Serrote e Guilhotina), de seguida o material proveniente da guilhotina é dobrado no posto de quinagem seguindo posteriormente para o posto de preparação. O material oriundo do corte por serrote já havia iniciado a sua transformação nesse posto de preparação. Assim que o material se encontra trabalhado pelo posto de preparação este segue para o posto de serralharia.

Uma vez concluídas as operações realizadas no posto de serralharia, o material segue para o posto de soldadura onde se realiza a união de componentes. Concluído este processo inicia-se a montagem de todas as componentes constituintes do produto, após o término das operações de montagem o produto encontra-se disponível para entrega ao cliente.

4.2.3. Quantificação e recolha de dados

Para a realização da análise foi necessário obter em detalhe toda a informação disponível da produção de uma obra completa, semelhante à produção de uma obra a decorrer no mesmo período da análise. De seguida a análise foi dividida em duas vertentes: MFCA e de Lean. Para a componente MFCA foram seguidos os procedimentos descritos no cap.3, em que o sistema de produção foi dividido em QCs. Na Figura 29 está ilustrado o modelo de fluxo mássico onde estão identificados os *inputs* e *outputs* e ainda a distinção entre os fluxos de material correspondentes ao produto, desperdício ou stock.

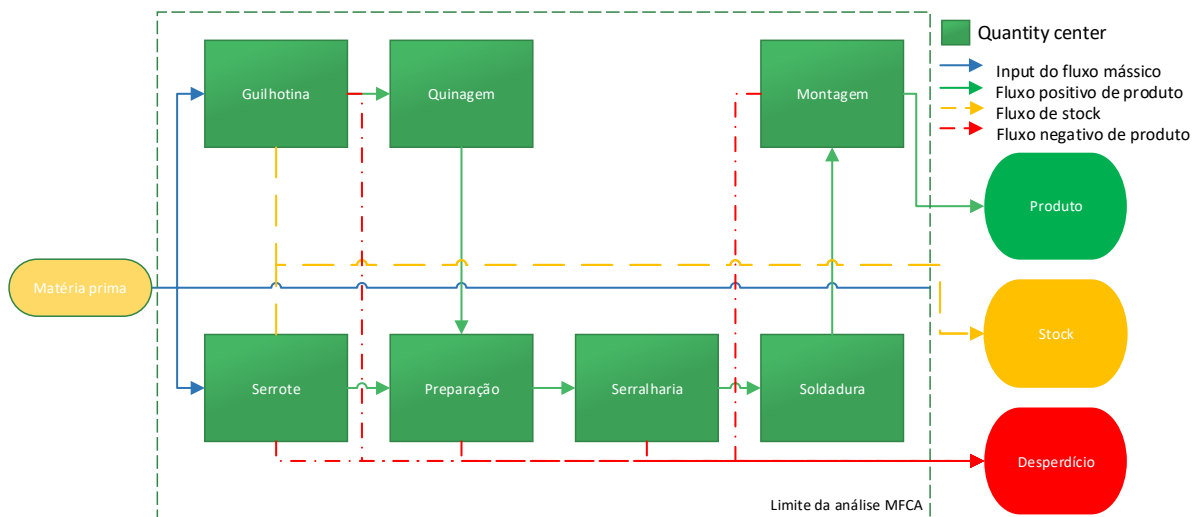


Figura 29-Modelo de fluxo mássico vigamento pesado

Uma vez definidos os *inputs* e *outputs* em cada QC é necessário quantificá-los em unidades físicas. No caso de estudo apenas foram identificados 2 parâmetros: material e sistema.

As quantidades de material necessárias para a produção obtiveram-se através do planeamento realizado pelo departamento de preparação à produção da empresa. As quantidades desperdiçadas ou reservadas em stock foram medidas em cada QC.

O tempo dedicado por cada colaborador e em cada operação corresponde ao parâmetro sistema. Obtido em cada QC através de registos de produção.

Para a componente de análise de desempenho foram seguidos os procedimentos descritos no capítulo 3 com o intuito de quantificar e avaliar o sistema de produção. Neste caso de estudo à semelhança do que foi realizado no caso de estudo anteriormente descrito efetuaram-se observações aos postos de produção do sistema de produção, de forma a conhecerem-se todas as operações realizadas em cada um destes postos. Uma vez conhecidas estas operações, à semelhança do que foi feito no caso de estudo anterior, foram classificadas as tarefas realizadas em: tarefas sem valor acrescentado, tarefas sem valor acrescentado, mas necessário e tarefas de valor acrescentado. Observou-se durante 1 hora cada QC do sistema de produção através do método de cronometragem. Desta forma foi possível obter os tempos dedicados a cada tarefa de cada QC, e assim obter uma aproximação do tempo total produtivo, em cada QC durante a produção da obra em estudo.

Através das observações instantâneas ao chão de fábrica foram quantificados o número de esperas e as paragens de produção. Estes dados foram recolhidos 3 vezes por dia durante os 2 dias de recolha de dados.

Quantificação de unidades físicas e monetárias

Para o sistema de produção em análise a quantificação de unidades físicas e dos custos seguem alguns critérios utilizados no caso de estudo anterior. No entanto foram desenvolvidos alguns procedimentos para a recolha de dados.

Alguns dos procedimentos e equações utilizados anteriormente foram empregues novamente para o cálculo dos custos que retrata os custos reais durante a produção.

Material:

À semelhança do que foi mencionado na secção 3.2.4 é feita uma quantificação da totalidade da matéria-prima necessária para a produção em estudo através dos dados disponibilizados pelo departamento de preparação à produção da obra. Seguidamente realizou-se uma análise individual aos *inputs* e *outputs* em cada QC medindo a quantidade de material que entra e sai em cada um. Realizou-se adicionalmente a medição da quantidade de volume de material e através da aplicação da equação (5) é obtida a quantidade em quilos à entrada e saída de cada QC, de forma a estabelecer uma aproximação das quantidades de material desperdiçado ou agregado ao produto em cada QC. A conversão do custo das unidades foi possível através da aplicação das equações (6) e (7) como no caso de estudo anterior.

Sistema

A quantificação da utilização de recursos humanos e de máquinas para a produção é semelhante à referida na secção 3.2.4. Através dos tempos produtivos de cada QC fornecidos pela empresa obtém-se os custos por operação e de cada colaborador em cada QC. Foram aplicadas as equações (8), (9) e (11) para se obter os custos de sistema envolvidos na produção deste caso de estudo.

Alocação de *outputs*

A alocação dos custos não materiais associados a este caso de estudo é definida através da aplicação do rácio da proporção de quantidades associadas ao produto e desperdício, como descrito na já referida secção.

Estudo dos tempos e observações chão de fábrica

À semelhança do caso de estudo anterior foram realizadas observações aos QCs por cronometragem e observações instantâneas ao chão de fábrica.

Nas observações por cronometragem foram recolhidas informações sobre as tarefas produtivas de cada QC assim como os tempos produtivos de cada uma. A partir do conhecimento de cada tarefa foi possível dividi-las em classes como referido anteriormente. A duração destas observações foi de 1 hora por cada QC, permitindo assim associar os resultados desta observação ao tempo total em cada QC de forma a obter uma aproximação à realidade produtiva.

As observações instantâneas ao chão de fábrica foram realizadas de forma a contabilizar o número de esperas ou paragem do sistema de produção em análise. Efetuaram-se no total 6 observações divididas pelos 2 dias de duração da análise.

4.2.4. Tratamento e análise de dados

Com a quantificação do fluxo de material em unidades físicas, a conversão para custos de material e o cálculo prévio dos restantes custos de produção por QC reúnem-se todas as condições para iniciar o tratamento de dados de forma a retirar conclusões acerca do atual sistema de produção.

O sistema de produção analisado à semelhança do caso de estudo anterior segue o método estratégico MTO tendo uma padronização do ponto de vista de método e de etapas produtivas. Esta análise pode ser considerada adequada para este tipo de obras pois, não ocorrem oscilações significativas durante a produção em todo o sistema de produção, levando a que esta análise seja fidedigna para o processo de melhoria da produção do mesmo tipo de obra.

Os seguintes procedimentos foram utilizados para o desenvolvimento do modelo de cálculo de cada QC:

1. Calcular os custos de material que serão considerados *input* do QC de acordo com o balanço de massa. Para os primeiros QCs de corte os custos de *input* considerados são os custos com a matéria prima;
2. Calcular os custos de sistema atribuídos de acordo com o QC em análise;
3. Cálculo do rácio entre produtos e desperdícios de forma a atribuir uma proporção aos recursos utilizados;
4. Alocação dos custos de sistema do QC baseado no rácio calculado anteriormente;
5. Cálculo dos valores de *output* do QC em análise divididos em produto e desperdício;
6. Cálculo dos custos relacionados com o desempenho em cada QC.

Para se obter uma análise completa do sistema de produção, estes procedimentos devem ser realizados para todos os QCs do fluxo de produção que constituem o caso de estudo. Esta análise pode ser ilustrada de acordo com um fluxo de custos, ao longo de todo o processo de produção ou, através de uma matriz de custo onde estão compiladas todas as análises de forma individual de custos e de desempenho de cada QC. Na Figura 30 encontra-se representado o fluxo de custos envolvidos durante a produção. Este fluxo representa o fluxo económico em cada QC baseado nos recursos utilizados e no desempenho de cada atividade produtiva realizada.

Analisando os resultados apresentados no mapa de custos da Figura 30 é possível identificar quais os QC que mais contribuem para os custos com o desperdícios e stock. Assim como os custos associados a tarefas que não contribuem para o acréscimo de valor ao produto e que numa análise contabilística não são evidenciados. Os QC que mais contribuem para os custos associados ao stock, são os QC responsáveis pelo corte inicial da matéria prima, simultaneamente são os postos que mais contribuem para o desperdício de material. Identificou-se que os QC que não contribuem para o aumento de custos associados aos desperdícios são os QC de Quinagem e Soldadura. Nestes postos estão associadas tarefas que não acrescentam valor ao produto e do ponto de vista produtivo são consideradas desperdício. As tarefas mencionadas anteriormente possuem valores reduzidos comparativamente aos

valores associados a tarefas sem valor acrescentado, mas necessários. Na Figura 30 é possível verificar os dados referentes à informação anterior.

QC - Serrote				
Input	QC anterior		- €	0%
	Input novo	Material	2 751 €	87%
		Energia	- €	0%
		Sistema	421 €	13%
Output	Produto		2 516 €	79%
	Desperdício		53 €	2%
	Stock		603 €	19%
Tempo dedicado			22,73h	
Tarefas NVA			3,40h	63 € 15%
Tarefas NVA N			6,86h	127 € 30%
Tarefas AV			12,47h	231 € 55%

QC - Guilhotina				
Input	QC anterior		- €	0%
	Input novo	Material	3 129 €	97%
		Energia	- €	0%
		Sistema	102 €	3%
Output	Produto		1 140 €	35%
	Desperdício		139 €	4%
	Stock		1 951 €	60%
Tempo dedicado			3,34h	
Tarefas NVA			0,81h	25 € 24%
Tarefas NVA N			1,40h	43 € 42%
Tarefas AV			1,13h	35 € 34%

QC - Preparação				
Input	QC anterior		3 794 €	90%
	Input novo	Material	- €	0%
		Energia	- €	0%
		Sistema	410 €	100%
Output	Produto		4 161 €	99%
	Desperdício		42 €	1%
	Stock		- €	0%
Tempo dedicado			24,12h	
Tarefas NVA			3,09h	53 € 13%
Tarefas NVA N			6,96h	118 € 29%
Tarefas AV			14,06h	239 € 58%

QC - Quinagem				
Input	QC anterior		1 140 €	89%
	Input novo	Material	- €	0%
		Energia	- €	0%
		Sistema	137 €	100%
Output	Produto		1 278 €	100%
	Desperdício		- €	0%
	Stock		- €	0%
Tempo dedicado			4,23h	
Tarefas NVA			0,53h	17 € 12%
Tarefas NVA N			1,66h	54 € 39%
Tarefas AV			2,04h	66 € 48%

QC - Serralharia				
Input	QC anterior		4 161 €	77%
	Input novo	Material	- €	0%
		Energia	- €	0%
		Sistema	1 258 €	100%
Output	Produto		5 040 €	93%
	Desperdício		379 €	7%
	Stock		- €	0%
Tempo dedicado			54,70h	
Tarefas NVA			7,02h	161 € 13%
Tarefas NVA N			19,57h	450 € 36%
Tarefas AV			28,11h	646 € 51%

QC - Soldadura				
Input	QC anterior		5 040 €	81%
	Input novo	Material	- €	0%
		Energia	- €	0%
		Sistema	1 183 €	100%
Output	Produto		6 223 €	100%
	Desperdício		- €	0%
	Stock		- €	0%
Tempo dedicado			57,71h	
Tarefas NVA			2,91h	60 € 5%
Tarefas NVA N			23,76h	487 € 41%
Tarefas AV			31,04h	636 € 54%

QC - Montagem			
Input	QC anterior	6 223 €	80%
	Input novo	Material	235 € 7%
		Energia	- € 0%
Output	Sistema	1 300 € 85%	20%
	Produto	7 526 €	97%
	Desperdício	233 €	3%
	Stock	- €	0%
Tempo dedicado		70,28h	
Tarefas NVA		20,08h	371 € 29%
Tarefas NVA N		15,62h	289 € 22%
Tarefas AV		34,58h	640 € 49%

Figura 30-Mapeamento do fluxo de custos obtido através do método de cálculo

Efetuada uma análise mais detalhada é possível obter um *dashboard* onde são apresentados todos os resultados possíveis de obter, através da aplicação deste método. Os resultados que fazem parte desse *dashboard* são apresentados de forma individual.

De acordo com os dados fornecidos pela empresa foi possível criar um mapa de fluxo mássico segundo a produção em análise como é apresentado na Figura 31. Neste mapa é possível observar as quantidades unitárias de material que foram inicialmente requisitadas pelo departamento de produção de forma a iniciar a produção. Bem como quais os QCs onde ocorrem desperdícios, reservas de material ou ainda as suas quantidades. É possível verificar que foi requisitada uma elevada quantidade de matéria prima em forma de chapa, tubo de secção retangular e na forma de barra para esta produção. Da totalidade de material requisitado para a produção cerca de 727 kg que correspondem a 42% do total de matéria-prima ficou armazenado ficando assim sem qualquer valorização.

Fluxo Mássico

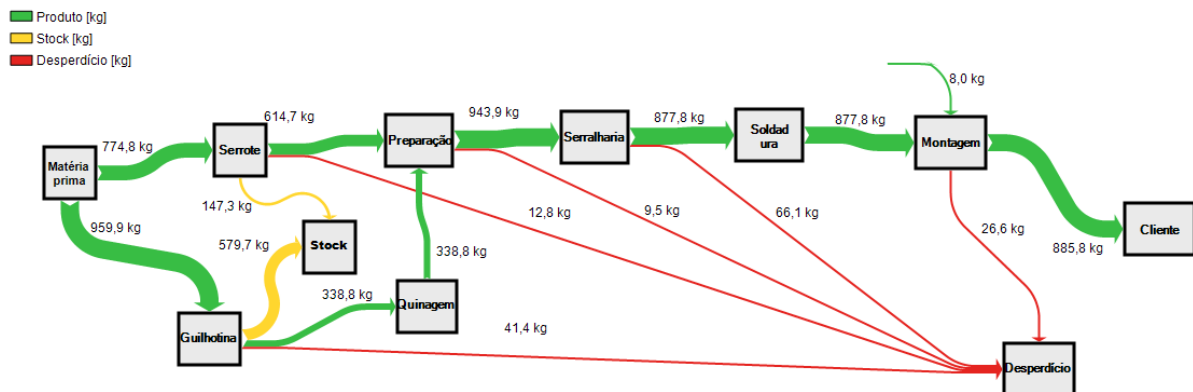


Figura 31-Fluxo mássico vigamento pesado

Uma vez identificados todos os custos envolvidos durante a produção em análise, como representado no mapeamento de fluxo de custos, na Figura 30, é possível distinguir a forma como cada parâmetro influencia o aumento dos custos de produção. Como se observa na Figura 32, encontra-se representado em percentagem, a contribuição de cada custo para o valor total de custo em cada QC. Por exemplo os custos no QC-Serrote, tiveram um peso de 87% no que diz respeito ao material e de 10% com o custo do operador e de 3% com o custo da operação. Já o QC-Quinagem uma vez que não ocorreu nenhuma adição de material não ocorreram quaisquer custos nesse âmbito, fazendo com que houvesse apenas contribuição dos custos com o colaborador e operação.

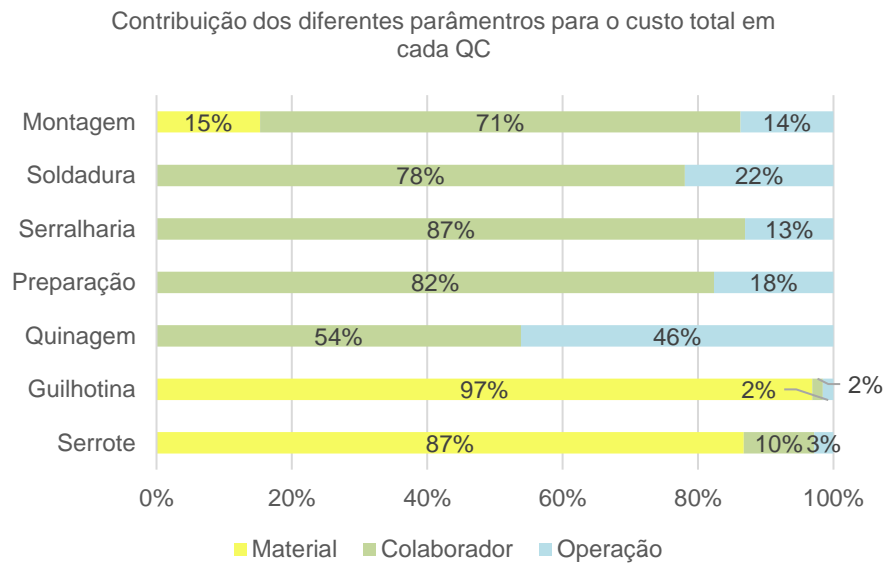


Figura 32- Contribuição dos diferentes parâmetros para o custo total em cada QC

Analisando os custos envolvidos com a produção podemos identificar duas fontes: material e sistema. Uma vez que os custos com os materiais ocorrem uma única vez, e numa fase inicial do sistema de produção, apenas nos QC iniciais de corte, a análise de custos incide nos custos de sistema. Na Figura 33 encontra-se ilustrado o *cost breakdown*, que permite verificar qual o QC que contribui para o aumento dos custos com o sistema. Desta forma permite identificar qual o QC crítico com maiores custos associados. Os QC de Serralharia, Soldadura e Montagem são identificados como os QC com maiores custos de sistema associados com cerca de 26%, 25% e 27% respetivamente.

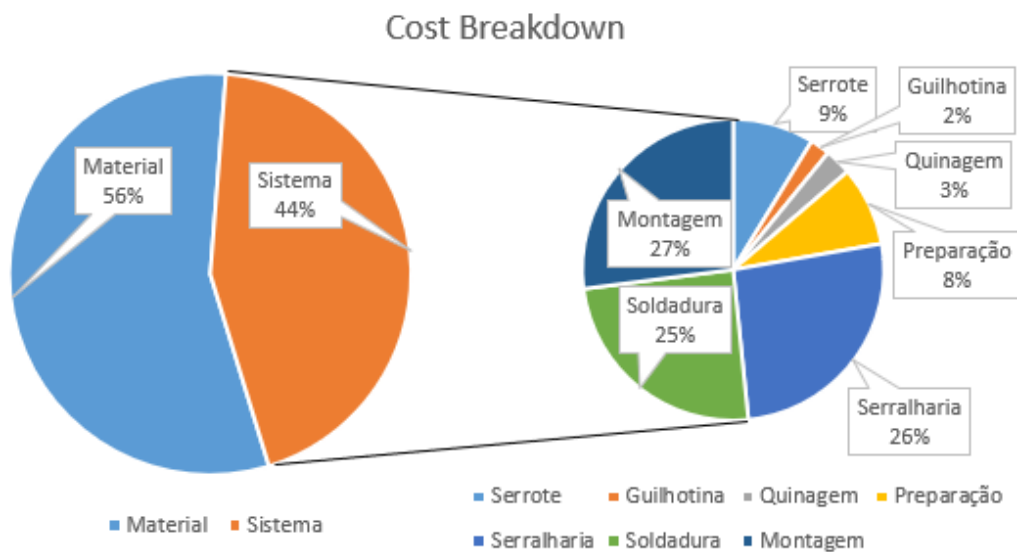


Figura 33-Estratificação dos custos de sistema por QC

Uma componente importante da análise é conhecer o valor real do produto final pois, este dado permite à empresa obter novas ferramentas de orçamentação e de controlo para futuras produções. Na Figura 34, encontra-se ilustrada a análise onde se obteve a evolução do valor do produto assim como, o peso da valorização em cada QC. Verificou-se que o maior crescimento ocorreu no posto de serralharía correspondendo a uma valorização de 23%, de notar que o valor final do produto atingiu os 8,48€/kg.

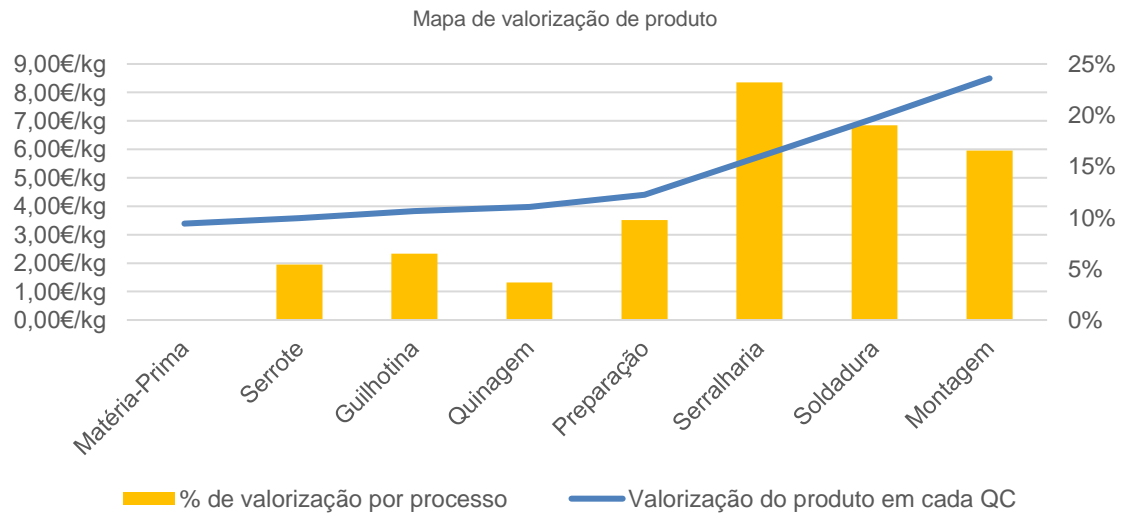


Figura 34- Mapa de valorização de produto

Uma vez conhecido e caracterizado o sistema de produção é possível construir um mapa segundo a lógica VSM (Anexo D – Diagrama do sistema de produção de uma obra vigamento pesado segundo a lógica VSM) que, permite relacionar o tempo total dedicado em cada QC com o desempenho encontrado em cada um. A construção deste mapa permitiu evidenciar de forma clara em que postos ocorrem esperas, e ainda o tempo de duração das mesmas. Permite ainda obter uma avaliação do *lead time* produtivo que considera apenas o desempenho do tempo produtivo e também uma avaliação do *lead time* total da obra, onde são consideradas também as esperas. Este mapa encontra-se no.

Ao analisar os dados retirados das observações por posto obteve-se uma avaliação de cada QC que permitiu, relacionar o desempenho com os custos de sistema, de forma a evidenciar os custos com as diferentes tarefas realizadas em cada posto, esses valores encontram-se ilustrados na Figura 30. Na Figura 35 encontra-se sobre a forma de gráfico o desempenho observado em cada QC, consoante a duração das tarefas realizados em cada um deles. Identificou-se que o posto com pior desempenho é o QC-Guilhotina onde apenas 34% do tempo produtivo foi utilizado em tarefas de valor acrescentado, sendo que 42% foi utilizado em tarefas sem valor acrescentado mas necessárias e 24% em tarefas sem valor acrescentado.

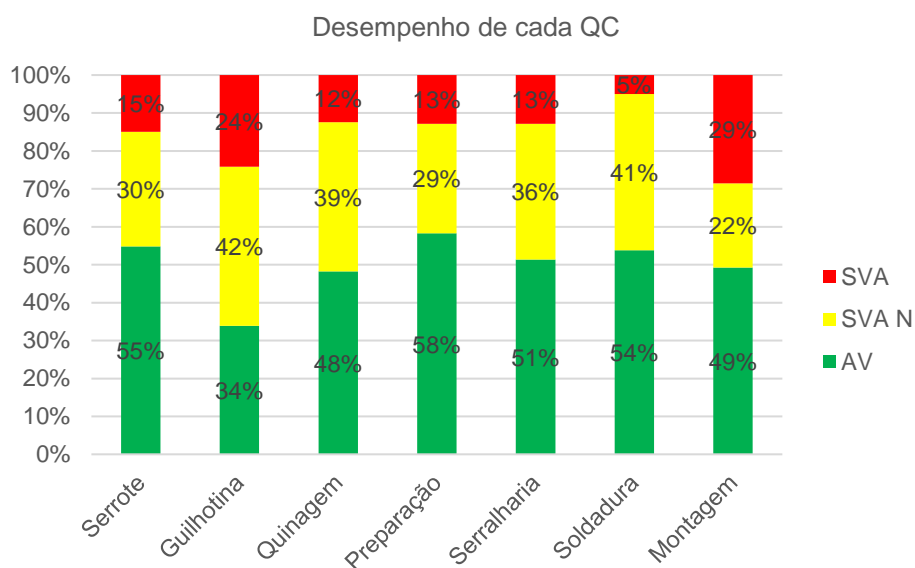


Figura 35-Desempenho de cada QC

Os dados alcançados das observações ao chão de fábrica resultaram na identificação de um grande número de esperas de trabalho em curso. Sendo que foram contabilizadas 56 ocorrências em que a maior incidência após o trabalho concluído é entre o posto de serralharia e o de soldadura, foram contabilizados 33 trabalhos em espera nesta situação. As restantes ocorrências podem ser verificadas na Figura 36.

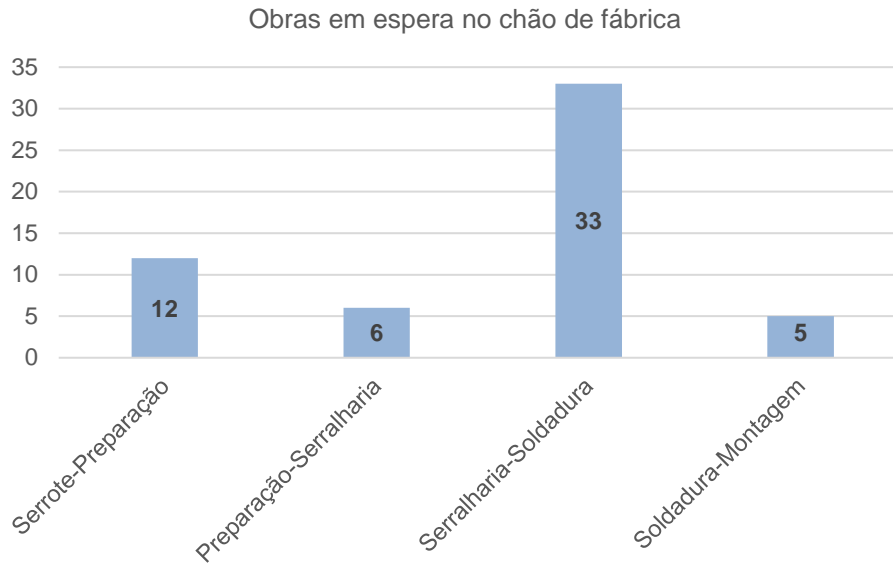


Figura 36-Obras em espera no chão de fábrica

4.2.5. Conclusões da análise

A aplicação da abordagem *quick-MFCA-Lean* de diagnóstico permitiu identificar e distinguir as quantidades de material utilizadas na produção das quantidades desperdiçadas, relacionando-as com os custos associados à produção. A análise focou-se na identificação de fontes de desperdícios de produção de origem material e temporal assim como a existência de outros problemas produtivos.

Como se tratou de um diagnóstico *quick* a observação e medição de dados necessitou de uma adaptação ao sistema de produção em análise, de forma obter uma aproximação real ao sistema de produção. Para isso foi realizada uma aproximação do tempo produtivo observado em relação ao tempo total da obra de forma a obter uma análise do desempenho produtivo. Assim obteve-se um diagnóstico mais rápido pois, não foi necessário acompanhar a obra na sua totalidade, como aconteceu no primeiro caso de estudo. A partir deste diagnóstico foi possível identificar os principais problemas e as suas causas raiz, bem como os principais fatores condicionantes da eficiência e eficácia do sistema de produção. Os resultados obtidos permitem analisar o atual sistema de produção, embora a informação recolhida não seja tão detalhada e precisa, como se tratasse de uma análise completa baseada na metodologia MFCA ou fundada em ferramentas *Lean*.

Apesar do diagnóstico fornecer à empresa uma caracterização do estado atual do sistema de produção do ponto de vista económico e operacional, este não atinge a mesma profundidade e rigor de análise que seria atingida caso fosse aplicada a metodologia MFCA combinada com ferramentas *Lean* na sua íntegra. No entanto, a análise permite ainda obter o nível de desempenho operacional do seu sistema atual de produção e ainda avaliar do ponto de vista económico, o estado de eficiência do consumo de material e a evolução dos custos de produção. É possível concluir que a partir da aplicação desta

abordagem simplificada é possível à empresa iniciar o processo de mudança suportando tomadas de decisões de implementação de melhoria e corretiva do sistema atual.

A rapidez que caracteriza o diagnóstico revela-se benéfica para a empresa pois, permite obter conhecimento ao nível do desperdício com o material bem como, a consciencialização do custo de desperdício em tarefas NVA ao produto final de forma célere promovendo assim, uma maior janela temporal para a tomada de medidas de melhoria. Contudo o rigor da informação recolhida é menor do que se de uma análise completa e mais detalhada se tratasse, o que pode aumentar a margem de erro dos resultados alcançados. Possibilitando assim o surgimento de falsos positivos relativamente à avaliação da eficiência de desempenho do sistema de produção.

O diagnóstico realizado permitiu aumentar o nível de conhecimento relacionando a análise de desempenho e de custo, como demonstrado na Figura 30. Nesta figura são apresentados dados que provenientes da informação extraída da simplificação de dois diagnósticos MFCA e *Lean*. Através do relacionamento dos tempos das tarefas produtivas e da lógica VSM com os custos de serviços associados a cada QC. É possível retirar os valores monetários associados a cada tipo de tarefa e em cada QC, obtendo-se assim os resultados em custos.

À semelhança do diagnóstico realizado no caso de estudo anterior verificou-se que, relativamente às tarefas NVA e às tarefas NVA N, existem custos de produção avultados. Através da análise o tempo produtivo dedicado a essas tarefas considerou-se como tempo produtivo desperdiçado e, assim é necessária uma melhoria para a sua redução e reduzir os custos relacionados. Associado às tarefas mencionadas anteriormente identificou-se um custo de 2318,08€ que representa 48% do custo em serviços ao longo da produção. Em contrapartida o valor agregado ao produto associado às tarefas de VA representa 52% do custo investido. A partir da análise de resultados segundo a lógica VSM e análise de eficiência aos postos identifica-se dois problemas já encontrados no caso de estudo anterior. Um dos problemas encontrados está associado às ineficiências elevadas em alguns QC, o outro relaciona-se com os custos de sistema avultados em alguns QC. As origens destes problemas estão associadas à escassez de recursos humanos, desorganização do chão de fábrica e postos de trabalho e ainda devido à ausência de fluxo de produção.

A partir dos resultados da análise do fluxo mássico Figura 31, é possível identificar outro problema produtivo, relacionado com as elevadas quantidades de material desperdiçado. Uma vez que ao material em stock não é acrescentado valor, este é considerado desperdício perfazendo 45% do material desperdiçado. Foi identificado o mesmo problema com a mesma causa raiz nos dois tipos de diagnóstico devido à ineficácia de um planeamento e otimização de recursos.

Analisando os resultados ilustrados na Figura 36 identifica-se um problema relacionado com o trabalho em curso. O problema identificado é o mesmo encontrado no caso de estudo anterior, mas com um nível de ocorrências menor devido ao tempo de análise. As causas raiz que originam este problema são a escassez de recursos humanos e a inexistência de fluxo de produção, que siga uma estratégia *push production*.

Tratando-se de uma abordagem de diagnóstico mais rápido, este pode ser utilizado como uma alternativa a métodos mais completos, pois apesar de não permitir a obtenção de resultados aprofundados e com um elevado detalhe e rigor, fornece indicações úteis a ponto de identificar os principais problemas que caracterizam o sistema de produção. Possibilitando ainda iniciar o processo de melhoria dos problemas identificados de forma suportada.

Através da síntese de problemas encontrados apresentada na Tabela 20 verificam-se as diferenças ao nível dos problemas encontrados, bem como das causas raiz que lhe dão origem.

Tabela 20-Síntese de problemas identificados e causas raiz

MFCA-Lean		qMFCA-Lean	
Problemas	Causas Raiz	Problemas	Causas Raiz
Grandes quantidades de material desperdiçado	<ul style="list-style-type: none"> • Quantidade e design de matéria-prima encomendada – Fornecedor 	Grandes quantidades de material desperdiçado	<ul style="list-style-type: none"> • Quantidade e design de matéria-prima encomendada – Fornecedor
Ineficiências elevadas	<ul style="list-style-type: none"> • Demasiado tempo despendido em tarefas Sem Valor Acrescentado (com e sem necessidade); • Desorganização dos postos e do chão de fábrica; • Tipo de tarefas produtivas (manuais); • Inexistência de ferramentas necessárias por posto; • Planeamento produtivo ineficaz; • Inexistência de fluxo de produção. 	Ineficiências elevadas	<ul style="list-style-type: none"> • Demasiado tempo despendido em tarefas Sem Valor Acrescentado (com e sem necessidade); • Tipo de tarefas produtivas (manuais); • Inexistência de fluxo de produção
Custos de sistema elevado	<ul style="list-style-type: none"> • Planeamento produtivo ineficaz; • Escassez de recursos humanos. 	Custos de sistema elevado	<ul style="list-style-type: none"> • Escassez de recursos humanos.
Esperas entre postos	<ul style="list-style-type: none"> • Planeamento produtivo ineficaz; • Inexistência de fluxo de produção. 	Esperas entre postos	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistência de fluxo de produção.
Operações de fabrico realizadas em postos inadequados	<ul style="list-style-type: none"> • Planeamento produtivo ineficaz; • Indisponibilidade de postos – Sobrecarga produtiva; • Recursos humanos insuficientes; 		
Retrabalho e <i>loop</i> entrepostos	<ul style="list-style-type: none"> • Configuração ineficiente de <i>layout</i>; • Falta de material concluído por posto anterior; • Inexistência da definição do fluxo produtivo; • Planeamento produtivo ineficaz; 		

A uma análise MFCA-*Lean* é exigido um período extenso de análise o que permite acompanhar a duração total da produção, possibilitando a obtenção de maior quantidade de informação com elevado nível de detalhe durante a observação do sistema de produção. Consequentemente é possível detetar as causas e motivos das ineficiências nos QC, como por exemplo identificar e medir distâncias percorridas pelos colaboradores e os motivos pelos quais a produção é interrompida. Adicionalmente como se trata de acompanhamento do fluxo de material durante todo o processo produtivo, é possível a detetar operações de retrabalho ou de *loops* de material entrepostos, o que leva a concluir que existe um plano de produção ineficaz e que a configuração atual de *layout* não promove um fluxo produtivo contínuo. Estes aspetos produtivos numa análise qMFCA-*Lean* não são detetados devido ao encurtamento do período de análise e da aproximação realizada para obter uma total caracterização das atividades produtivas ocorridas em cada QC. No entanto, a análise permite identificar os principais pontos críticos, embora com perda de informação relativamente às causas desses aspetos críticos.

Em suma conclui-se que a abordagem quick apresenta resultados próximos da realidade produtiva do sistema observado. Com este diagnóstico identificaram-se os principais problemas e fatores que condicionam a eficiência e eficácia do sistema de produção. Uma comparação dos resultados obtidos em ambas a análise evidencia que a análise qMFCA-*Lean* permite identificar os principais problemas do sistema produtivo embora sem o mesmo detalhe e rigor que uma análise completa permitiria. Estes resultados devem-se ao facto de a empresa ser a mesma em ambos os estudos o que permite concluir que a abordagem quick pode ser utilizada em alternativa aos métodos mais completos pois alheio ao facto de perder detalhe é possível a identificação dos principais problemas e causas do sistema de produção.

5. Conclusão

Nesta dissertação foi aplicada primeiramente o método MFCA seguindo a norma ISO 14051 aplicado ao caso de estudo. Este diagnóstico permitiu concluir quais as fontes de desperdício do sistema de produção através da caracterização do fluxo mássico ao longo da produção. Este método permitiu conhecer os custos de produção, expondo os custos associados aos desperdícios que um método contabilístico tradicional não evidencia. O método permite ainda identificar as fontes de desperdícios, mas não evidencia os problemas de desempenho e as causas raiz que geram a ocorrência dos desperdícios. Para colmatar esta lacuna da metodologia MFCA, foi associada a esta análise a aplicação de conceitos e ferramentas *Lean* passando assim a ter um diagnóstico MFCA-*Lean*, onde é avaliada a globalidade económica e operacional do sistema de produção. Este diagnóstico permitiu avaliar de forma detalhada e rigorosa o sistema de produção o que levou à identificação de problemas e das suas causas raiz. Ao expor os problemas atuais do sistema de produção esta análise auxiliou com grande rigor e exatidão os processos de mudança focados na melhoria produtiva.

A aplicação de um diagnóstico MFCA-*Lean* possibilita às empresas obterem um diagnóstico completo através da complementaridade dos dois métodos. A análise completa origina uma carga significativa relativamente à recolha de informação e dados, disponibilidade para a realização de observações do sistema de produção, o que significa que é necessário reunir vários fatores para realizar esta análise tornando-a morosa. Esta dissertação propõe uma abordagem simplificada de um diagnóstico MFCA-*Lean*, com o objetivo de analisar a capacidade de análise do sistema de produção, mas de uma forma simplificada e breve. Embora com uma dimensão e esforço de análise mais reduzidos, esta abordagem origine uma perda de detalhe nos resultados alcançados, não se verifica a perda de capacidade de identificação dos principais problemas produtivos. Esta nova abordagem designada como qMFCA-*Lean* permite através da sua aplicação encurtar o período de obtenção de dados, mantendo ainda a capacidade de avaliação e de suporte na tomada de decisão de implementação de medidas de melhoria.

Foram desenvolvidos uma série de procedimentos e sugestões de análise de forma a orientar e a facilitar a aplicação da abordagem qMFCA-*Lean* e a leitura de resultados. O desenvolvimento desta abordagem simplificada seguiu a lógica da análise completa MFCA-*Lean* com o intuito de manter a complementaridade dos métodos. De forma a tornar possível as reduções do tempo de análise foram aplicadas um conjunto de alterações no formato como foram adquiridos os dados, foi reduzida a duração do período de observação em cada QC. Os dados recolhidos dessa observação como não corresponde ao tempo total dedicado em cada QC, foi aplicada uma aproximação de forma a obter uma caracterização aproximada do tempo total dedicado em cada um, permitindo obter dados aproximados do total da obra. A análise simplificada obtida através da compilação dos dados de todos os QC, apesar de apenas possibilitar um conhecimento superficial do comportamento do sistema de produção analisado, permitindo concluir onde ocorrem maiores desperdícios, ineficiências e outros problemas produtivos, bem como os custos associados. Embora os resultados alcançados não tenham o mesmo nível de detalhe, estes permitem identificar aspetos críticos ocorridos durante a produção e que

contribuem para o aumento de desperdícios e ineficiências e conseqüentemente um aumento dos custos de produção. Esta ferramenta possibilita ainda a implementação e controlo de medidas de melhoria.

A implementação da abordagem qMFCA-Lean permitiu identificar os principais problemas associados à produção observada no caso de estudo. Esses problemas estão relacionados com as grandes quantidades de material desperdiçado, as ineficiências elevadas de alguns QC, os custos de sistema elevados em alguns QC e as esperas entre postos. Como esperado através do diagnóstico completo MFCA-Lean foi possível identificar adicionalmente dois problemas: operações realizadas em postos inadequados e a ocorrência de retrabalho e *loop* entrepostos. A quantidade de causas raiz encontrada assim como o seu detalhe difere de igual modo à identificação de problemas produtivos. Desta maneira o qMFCA-Lean pode funcionar como alternativa rápida aos diagnósticos mais completos, pois permite obter um conjunto de indicações úteis que permitem iniciar o processo de mudança e melhoria, mesmo sem a profundidade e o detalhe de uma análise completa.

Com o objetivo de evidenciar os resultados alcançados através da análise foi criado um *dashboard* com um conjunto de resultados que evidenciam o estado atual do sistema de produção, alguns dos resultados expostos são: o fluxo mássico, contribuição de cada parâmetro para os custos em cada QC, um diagrama segundo a lógica VSM que permite identificar esperas e atrasos na produção, etc. Este *dashboard* permite aos diversos setores da empresa avaliar os resultados de acordo com as metas e objetivos definidos, e ainda a identificar de problemas relacionados com a produção em causa.

Em suma através da aplicação do qMFCA-Lean a um sistema de produção é possível de forma abrangente e menos precisa num período de análise menor:

- Avaliar a eficiência de cada QC e do global do sistema de produção;
- Avaliar a eficiência e eficácia do consumo de material;
- Avaliar todos os custos produtivos associados à produção distinguindo os custos associado a desperdício e ao produto final;
- Acompanhar a valorização do material ao longo da produção;
- Identificar os QC críticos do sistema de produção;
- Identificar os problemas produtivos do sistema de produção e as suas causas raiz;
- Aplicação de medidas com o foco na melhoria do sistema de produção;
- Avaliar e reavaliar impacto das medidas de melhoria.

6. Trabalho futuro

Neste capítulo apresentam-se algumas sugestões para trabalho futuro nesta área de estudos.

A primeira sugestão relaciona-se com a aplicação da metodologia a um tipo de produto da mesma área de produção, mas distinto do analisado nesta dissertação, com o objetivo de obter outras perspectivas de análise e eventualmente apresentar correções e/ou alterações à metodologia sugerida.

Propõe-se aplicar esta metodologia a diferentes tipos de indústria para obter uma validação mais abrangente quanto possível desta metodologia e conseqüentemente encontrar limitações e as suas contramedidas.

Integrar à abordagem o conceito e análise de um fluxo energético de forma independente, com o objetivo de medir a eficiência e consumos energéticos da empresa.

Aplicar medidas corretivas à metodologia para torná-la uma ferramenta robusta e mais completa mantendo a sua principal característica, a rapidez de análise na obtenção de um diagnóstico de um sistema de produção.

7. Referências

- [1] Z. Run, I. Hikaru, e T. Soemon, «MFCA-Based simulation analysis for production lot-size determination in a multi- variety and small-batch production system», pp. 1984–1995, 2013.
- [2] B. Wagner, «A report on the origins of MFCA research activities», *J. Clean. Prod.*, vol. 108, pp. 1255–1261, 2015.
- [3] R. Sygulla, A. Bierer, e U. Gotze, «Material Flow Cost Accounting-Proposals for Improving the Evaluation of Monetary Effects of Resource Saving Process Designs», *44th CIRP Int. Conf. Manuf. Syst.*, n. June, pp. 1–3, 2011.
- [4] DIN EN ISO (14051:2011), «Environmental Management – Material Flow Cost Accounting- General Framework (ISO 14051)», 2011.
- [5] A. Schmidt, U. Götze, e R. Sygulla, «Extending the scope of Material Flow Cost Accounting - Methodical refinements and use case», *J. Clean. Prod.*, vol. 108, pp. 1320–1332, 2015.
- [6] K. L. Christ e R. L. Burritt, «ISO 14051: una nueva era para la aplicación e investigación sobre MFCA», *Rev. Contab.*, vol. 19, n. 1, pp. 1–9, 2016.
- [7] R. Sygulla, U. Götze, e A. Bierer, «Material Flow Cost Accounting : A Tool for Designing Economically and Ecologically Sustainable Production Processes», pp. 281–296, 2014.
- [8] E. Guenther, C. Jasch, M. Schmidt, B. Wagner, e P. Ilg, «Material Flow Cost Accounting e looking back and ahead», *J. Clean. Prod.*, vol. 108, pp. 1249–1254, 2015.
- [9] M. Schmidt e M. Nakajima, «Material Flow Cost Accounting as an Approach to Improve Resource Efficiency in Manufacturing Companies», *Resources*, vol. 2, n. 3, pp. 358–369, 2013.
- [10] K. Kokubu, M. K. S. Campos, Y. Furukawa, e H. Tachikawa, «Material flow cost accounting with ISO 14051», *ISO Manag. Syst.*, n. January-February, pp. 15–18, 2009.
- [11] Environmental Industries Office Environmental Policy Division Industrial Science and Technology Policy and Environmental Bureau Ministry of Economy and Trade and Industry Japan, «Guide for Material Flow Cost Accounting», n. March, pp. 1–48, 2007.
- [12] H. Tachikawa, Ed., *Manual on Material Flow Cost Accounting ISO 14051*. Asian Productivity Organization, 2014.
- [13] A. Bierer e U. Götze, «Energy Cost Accounting: Conventional and Flow-oriented Approaches», *J. Compet.*, vol. 4, n. 2, pp. 128–144, 2012.
- [14] K. Kokubu e H. Tachikawa, «Material Flow Cost Accounting: Significance and Practical Approach», *Handb. Sustain. Eng.*, pp. 351–369, 2013.
- [15] Michiyasu Nakajima, A. K. Kansai, e S. OKA, «MFCA Management as Sustainable

- Management», *Seventh Asia Pacific Interdiscip. Res. Account. Conf.*, vol. 276, 2013.
- [16] K. Kokubu e H. Kitada, «Material flow cost accounting and Conventional management thinking: Introducing a new environmental management accounting tool into companies», p. 32, 2012.
- [17] J. P. Womack e D. Jones, *Lean Thinking - Banish Waste Wealth in Your Corporation*. New York: Free Press, 2003.
- [18] T. Ohno, «The Toyota Production System: Beyond Large Scale Production. Productivity Press», 1988, pp. 19–20.
- [19] M. Eaton, «The Lean Practitioner's Handbook», Kogan Page Limited, 2013, pp. 34–37.
- [20] L. E. Institute, «A graphical glossary for Lean Thinkers», 4th ed., C. Marchwinski, J. Shook, e A. Schroeder, Eds. Lean Enterprise Institute, 2008, pp. 61–63.
- [21] J. Singh, «Continuous improvement approach : state-of-art review and future implications», *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 3 n.2, pp. 88–111, 2012.
- [22] T. Melton, «The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries», *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 83, n. 6, pp. 662–673, 2005.
- [23] A. Mare, S. Katarina, e V. Stefan, «SPAGHETTI DIAGRAM APPLICATION FOR WORKER S ' MOVEMENT ANALYSIS», vol. 79, n. 1, 2017.
- [24] W. Chattinnawat, W. Suriya, e P. Jindapanpisan, «Application of MFCA with LEAN to Improve Pajama Production Process: A Case Study of Confederate International Co., Ltd», em *Accounting for Sustainability: Asia Pacific Perspectives*, 2018, pp. 209–235.
- [25] S. J. Thanki e J. J. Thakkar, «The Management of Operations Value – value load diagram : a graphical tool for lean – green performance assessment», *Prod. Plan. Control*, n. August, 2016.
- [26] W. Chattinnawat, M. Teeratanasombut, e C. Kammoon, «Development of analysis method of material flow cost accounting using lean technique in food production: A case study of Universal Food Public (UFC) Co.,Ltd.», *KKU Eng. J.*, vol. 42, n. June, pp. 155–172, 2015.
- [27] J. Morgado, A. Costa, P. Peças, e E. Henriques, «Setups no sector Engineering & Tooling», *O Molde*, vol. 97, pp. 26–29, 2013.

8. Anexos

8.1. Anexo-A – Quantificação de material utilizado durante o caso de estudo

Quantificação de material:

Forma de matéria prima	Quantidade $\frac{[kg]}{[unidade]}$	Unidades	Quantidade [Kg]
Chapa	60,68	2	121,37
Varão	45,75	3	137,26
Tubo	11,44	25	167
Total	-	-	425,63

8.2. Anexo-B - Contabilização dos custos de material e de sistema.

Custos de material:

Custo de material	Quantidade [Kg]	Custo/quilo $\frac{[€]}{[Kg]}$	Custo de material [Kg]
Chapa	121,37	3,26	395,65
Varão	137,26	3,63	498,26
Tubo	167	3,63	606,21
Total	425,63	-	1500,12

Custos de serviço:

Custos por operação em cada QC

QC	Custo por operação _{QC} [€]
Corte por serrote	1,71
Corte por plasma	43,50
Preparação	6,00
Quinagem	61,50
Dobragem	18,90
Serralharia	26,60
Serralharia-Retrabalho	2,20
Soldadura	95,67

Custos por colaborador em cada QC

QC	Custo por colaborador _{QC} [€]
Corte por serrote	8,27
Corte por plasma	21,75
Preparação	26,00
Quinagem	71,75
Dobragem	91,35
Serralharia	259,35

Serralharia-Retrabalho	21,45
Soldadura	437,33

Custos de espaço por QC

QC	Área_{QC} [m²]	Custo espaço_{QC}[€]
Corte por serrote	20,00	0,02
Corte por plasma	72,00	0,15
Preparação	20,25	0,06
Quinagem	21,00	0,13
Dobragem	6,00	0,06
Serralharia	20,25	0,39
Serralharia-Retrabalho	20,25	0,03
Soldadura	36,00	1,43

Custos de sistema em cada QC

QC	Custo de Sistema_{QC}[€]
Corte por serrote	9,98
Corte por plasma	65,3
Preparação	32,00
Quinagem	133,3
Dobragem	110,3
Serralharia	286,0
Serralharia-Retrabalho	23,7
Soldadura	533,00

Tempos produtivos em cada QC

QC	t_{produção} [h]
Corte por serrote	1,45
Corte por plasma	0,57
Preparação	2,00
Quinagem	4,10
Dobragem	6,3
Serralharia	13,30
Serralharia-Retrabalho	1,10
Soldadura	27,33

8.3. Anexo-C – Matriz de custo em cada QC

Matriz de custo de fluxo		QC-Plasma				
		Custo de material	Custo de Sistema	Custo com resíduos	Alocação	Total no CQ
INPUT	Input QC anterior					
	Input QC novo	395,65 €	65,25 €	9,71 €		470,61 €
	Total no QC	395,65 €	65,25 €	9,71 €		470,61 €
OUTPUT	Produto Desejado	303,13 €	49,99 €	- €	77%	353,13 €
	Produto Indesejado	14,68 €	2,42 €	5,98 €	4%	23,08 €
	Stock	77,83 €	12,84 €	3,74 €	20%	94,40 €
Total de custos com desperdício						
Total de Custos com Stock						
Total custos produto						
Total						

Matriz de custo de fluxo		QC-Serrote				
		Custo de material	Custo de Sistema	Custo com resíduos	Alocação	Total no CQ
INPUT	Input QC anterior					
	Input QC novo	1 104,47 €	9,98 €	13,45 €		1 127,89 €
	Total no QC	1 104,47 €	9,98 €	13,45 €		1 127,89 €
OUTPUT	Produto Desejado	730,69 €	6,57 €	- €	66%	737,26 €
	Produto Indesejado	208,52 €	1,88 €	9,71 €	19%	220,10 €
	Stock	165,26 €	1,49 €	3,74 €	15%	170,48 €
Total de custos com desperdício						
Total de Custos com Stock						
Total custos produto						
Total						

Matriz de custo de fluxo		QC-Preparação				
		Custo de material	Custo de Sistema	Custo com resíduos	Alocação	Total no CQ
INPUT	Input QC anterior	303,13 €	49,99 €	- €		353,13 €
	Input QC novo	- €	32,00 €	- €		32,00 €
	Total no QC	303,13 €	81,99 €	- €		385,13 €
OUTPUT	Produto Desejado	303,13 €	81,99 €	- €	100%	385,13 €
	Produto Indesejado	- €	- €	- €	0%	- €
	Stock	- €	- €	- €	0%	- €
Total de custos com desperdício		14,68 €	2,42 €	5,98 €		23,08 €
Total de Custos com Stock		77,83 €	12,84 €	3,74 €		94,40 €
Total custos produto		303,13 €	81,99 €	- €		385,13 €
Total		395,65 €	97,25 €	9,71 €		502,61 €

Matriz de custo de fluxo		QC-Quinagem				
		Custo de material	Custo de Sistema	Custo com resíduos	Alocação	Total no CQ
INPUT	Input QC anterior	303,13 €	81,99 €	- €		385,13 €
	Input QC novo	- €	133,25 €	- €		133,25 €
	Total no QC	303,13 €	215,24 €	- €		518,38 €
OUTPUT	Produto Desejado	303,13 €	215,24 €	- €	100%	518,38 €
	Produto Indesejado	- €	- €	- €	0%	- €
	Stock	- €	- €	- €	0%	- €
Total de custos com desperdício		14,68 €	2,42 €	5,98 €		23,08 €
Total de Custos com Stock		77,83 €	12,84 €	3,74 €		94,40 €
Total custos produto		303,13 €	215,24 €	- €		518,38 €
Total		395,65 €	230,50 €	9,71 €		635,86 €

Matriz de custo de fluxo		QC-Dobragem				
		Custo de material	Custo de Sistema	Custo com resíduos	Alocação	Total no CQ
INPUT	Input QC anterior	29,04 €	0,26 €	- €		29,30 €
	Input QC novo	- €	110,25 €	- €		110,25 €
	Total no QC	29,04 €	110,51 €	- €		139,55 €
OUTPUT	Produto Desejado	29,04 €	110,51 €		100%	139,55 €
	Produto Indesejado	- €	- €	- €	0%	- €
	Stock	- €	- €	- €	0%	- €
Total de custos com desperdício		208,52 €	1,88 €	9,71 €		220,10 €
Total de Custos com Stock		165,26 €	1,49 €	3,74 €		170,48 €
Total custos produto		730,69 €	116,82 €	- €		847,51 €
Total		1 104,47 €	120,18 €	13,45 €		1 238,10 €

Matriz de custo de fluxo		QC-Serralharia				
		Custo de material	Custo de Sistema	Custo com resíduos	Alocação	Total no CQ
INPUT	Input QC anterior	1 033,82 €	332,06 €	- €		1 365,89 €
	Input QC novo	- €	309,60 €	5,98 €		315,58 €
	Total no QC	1 033,82 €	641,66 €	5,98 €		1 681,46 €
OUTPUT	Produto Desejado	980,85 €	585,14 €		95%	1 565,99 €
	Produto Indesejado	52,97 €	56,53 €	5,98 €	5%	115,47 €
	Stock	- €	- €	- €	0%	- €
Total de custos com desperdício		276,17 €	60,82 €	21,66 €		358,66 €
Total de Custos com Stock		243,09 €	14,32 €	7,47 €		264,89 €
Total custos produto		980,85 €	585,14 €	- €		1 565,99 €
Total		1 500,12 €	660,28 €	29,13 €		2 189,53 €

Matriz de custo de fluxo		QC-Soldadura				
		Custo de material	Custo de Sistema	Custo com resíduos	Alocação	Total no CQ
INPUT	Input QC anterior	980,85 €	585,14 €	- €		1 565,99 €
	Input QC novo	- €	533,00 €	- €		533,00 €
	Total no QC	980,85 €	1 118,14 €	- €		2 098,99 €
OUTPUT	Produto Desejado	980,85 €	1 118,14 €	- €	100%	2 098,99 €
	Produto Indesejado	- €	- €	- €	0%	- €
	Stock	- €	- €	- €	0%	- €
Total de custos com desperdício		276,17 €	60,82 €	21,66 €		358,66 €
Total de Custos com Stock		243,09 €	14,32 €	7,47 €		264,89 €
Total custos produto		980,85 €	1 118,14 €	- €		2 098,99 €
Total		1 500,12 €	1 193,28 €	29,13 €		2 722,53 €

8.4. Anexo D – Diagrama do sistema de produção de uma obra vigamento pesado segundo a lógica VSM

