



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Marta de Almeida Lucas

**ANÁLISE E PROPOSTAS DE MELHORIA PARA A
DIGITALIZAÇÃO DE PROCESSOS EM CONTEXTO
INDUSTRIAL - UM CASO DE ESTUDO**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial orientada
pelo Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira e apresentada
ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra.**

Setembro de 2022

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Análise e propostas de melhoria para a digitalização de processos em contexto industrial - um caso de estudo

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Analysis and improvement proposals for process digitalization in an industrial context - a case study

Autor

Marta de Almeida Lucas

Orientadores

**Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes
Ferreira**

Engenheiro Carlos Manuel Oliveira Rodrigues

Júri

Presidente Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz
Professor Doutor da Universidade de Coimbra

Orientador Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes
Ferreira

Professor Doutor da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Cristóvão Silva

Professor Doutor da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional

Toyota Caetano Portugal, SA
Fábrica de Ovar

Toyota Caetano Portugal, S.A

Coimbra, setembro, 2022

“The only true wisdom is in knowing you know nothing” (Sócrates)

Às minhas avós: Alice e Raquel.

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças ao apoio de certas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu agradecimento.

Em primeiro lugar, aos meus pais, aos quais sem dúvida devo a maior gratidão de todas, sem eles não seria a pessoa que sou hoje. Sem toda a compreensão, apoio e amor incondicional, um obrigado por todos os sacrifícios que me permitiram chegar à escrita desta dissertação.

Ao meu irmão pela paciência e orientação e por me fazer acreditar que não existem impossíveis e nunca é tarde para seguirmos e lutarmos por aquilo que queremos.

Aos meus tios, tias, primos e primas por terem sempre uma palavra de apoio e entusiasmo e me ajudarem sempre que precisei.

Não posso deixar de agradecer ao meu orientador: professor Luís Ferreira, por me ter acompanhado de forma incansável no desenvolvimento desta dissertação e se ter mostrado sempre disponível. Obrigada Sara e Gabriela por me fazerem acreditar que conseguia e devia agarrar este desafio!

Aos meus amigos, que estando mais ou menos presentes, me apoiam e contribuem em grande parte para ser a pessoa que sou e alcançar os meus objetivos.

Um agradecimento especial ao pessoal do basquete e ao NEEMAAC por me acompanharem todos os dias ao longo do meu curso. Obrigada ao pessoal do basquete por me ensinarem que os valores de trabalho em equipa, amizade, disciplina e compromisso, podem e devem andar de mãos dadas. Obrigada ao NEEMAAC por me permitir crescer enquanto pessoa e me fazer sentir parte de uma casa todos os dias no DEM.

Não posso também deixar de agradecer às pessoas da TCAP por se mostrarem sempre disponíveis para ajudar e me receberem de forma incansável. Ao Eng. Carlos e ao Eng. Fernando, obrigada por todo o acompanhamento, todos os conselhos, oportunidades e toda a disponibilidade demonstrada para o desenvolvimento deste trabalho. Em particular, ao Marcelo e ao Aleixo uma palavra de agradecimento especial pelo acompanhamento e preocupação diária que definitivamente tornaram esta dissertação possível.

Por fim, obrigada a todas as pessoas, que com pequenos ou grandes gestos contribuíram para que eu contruísse o meu caminho até aqui.

Resumo

Atualmente, a aplicação de soluções digitais nas fábricas já não é uma opção, mas sim uma obrigação, para as empresas que desejam permanecer competitivas no mercado. No entanto, a sua implementação, frequentemente associada a conceitos como a Indústria 4.0 e a digitalização de processos, requer que sejam garantidas previamente condições favoráveis à sua utilização. Nesse sentido, cada vez mais, na indústria se procuram respostas para como preparar cada organização para a introdução destas tecnologias.

Esta dissertação, tinha como principal objetivo servir de suporte em apoiar a Toyota Caetano Portugal S.A. – Fábrica de Ovar, no caminho para a implementação de soluções digitais nos seus processos industriais. Para tal, foi desenvolvida uma metodologia, que se inicia com a definição do AS-IS dos processos da fábrica, seguindo-se da aplicação de um modelo adaptado de avaliação do estado atual de *readiness*, por forma a direcionar os processos a analisar, e por fim, da apresentação de um conjunto de propostas de melhoria (numa abordagem *step-by-step*), bem como da projeção do TO-BE.

A definição do AS-IS e a avaliação do estado atual de *readiness* realizada permitiu concluir que a área crítica do processo produtivo é a pintura (representativa de 54% do *lead time* total da fábrica e 43% desse tempo devido a stocks de segurança), a par com os processos de suporte da área da manutenção. Consequentemente, o foco do estudo direcionou-se para uma zona específica na pintura (o PT-ED) e para os processos de gestão da manutenção, tendo estes processos revelado 4mil euros/ano em MUDA passíveis de suprimir com a implementação de soluções digitais, e ainda, tendo a zona do PT-ED revelado 15mil euros/ano em custos de avaria.

A análise destas duas áreas em simultâneo, levou-nos a concluir que previamente à implementação de novas tecnologias nesta zona da fábrica, existe uma forte de necessidade de estruturação e preparação de requisitos de digitalização de processos – *readiness* – nomeadamente ao nível da digitalização da informação nos processos de gestão da manutenção.

Palavras-chave: Digitalização de processos, *Readiness*, Maturidade, Indústria 4.0, Soluções digitais, Tecnologias

Abstract

Nowadays, the application of digital solutions in factories is no longer an option, but a must for companies that wish to remain competitive in the market. However, its implementation, often associated with concepts such as Industry 4.0 and process digitalization, requires that favorable conditions for its use are met beforehand. In this regard, more and more, answers are being sought in industry on how to prepare each organization for the implementation of these technologies.

This thesis' main goal was to support Toyota Caetano Portugal S.A. - Fábrica de Ovar, on its path towards the implementation of digital solutions in its industrial processes. To achieve this goal, a methodology was developed, starting with the definition of the AS-IS of the factory processes, followed by the application of a model for the evaluation of its current state of readiness with the intent of targeting the processes to be analyzed. And finally, a set of improvement proposals (in a step-by-step approach) was presented, as well as the projection of the TO-BE state.

The definition of the AS-IS and the assessment of the current state of readiness allowed us to conclude that the critical area of the production process is the paint shop (representing 54% of the total lead time of the factory with 43% of this time due to safety stocks), along with the support processes of the maintenance department. Consequently, the focus of the study was directed towards a specific area in the paint shop (the PT-ED) as well as to the maintenance management processes, having these processes revealed 4 thousand euros per year in MUDA, which could be eliminated through the implementation of digital solutions, and also, having the PT-ED area shown 15 thousand euros per year in failure costs.

The simultaneous analysis of these two areas led us to conclude that prior to the implementation of new technologies in this particular area of the plant, there's a strong need to structure and prepare the requirements of process digitalization - readiness - namely at the level of digitalization of information in maintenance management processes.

Keywords: Process Digitalization, Readiness, Maturity, Industry 4.0, Digital solutions, Technologies

Índice

Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas.....	xii
Siglas	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização e Motivação.....	1
1.2. Objetivos e Estrutura	1
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	4
2.1. Introdução à Indústria 4.0.....	4
2.2. Implementação da Indústria 4.0.....	8
2.2.1. Barreiras/Desafios à implementação da Indústria 4.0.....	8
2.2.2. Implementação da Indústria 4.0 em PMEs.....	10
2.3. Modelos de avaliação de <i>Readiness</i> e Maturidade	12
2.3.1. Modelos de avaliação de <i>Readiness</i> e Maturidade no contexto da Indústria 4.0	13
2.3.2. Análise comparativa de Modelos de avaliação de <i>Readiness</i> e Maturidade no contexto da Indústria 4.0	15
2.3.3. DREAMY (<i>Digital REadiness Assessment MaturitY Model</i>).....	17
3. METODOLOGIA	22
3.1. Estruturação da metodologia	22
3.1.1. Adaptação de uma abordagem ao caso de estudo	22
3.1.2. Adaptação do DREAMY (<i>Digital REadiness Assessment MaturitY model</i>).....	25
3.2. Plano de Trabalho (Calendarização).....	29
4. O CASO DE ESTUDO	31
4.1. Apresentação da empresa	31
4.2. Definição do estado atual (<i>AS-IS</i>).....	31
4.2.1. A linha do LC 70.....	31
4.2.2. Manutenção	33
4.3. Avaliação do nível de Maturidade do <i>AS-IS</i> no contexto da Indústria 4.0.....	35
4.3.1. Aplicação do modelo adaptado do DREAMY (<i>Digital REadiness Assessment MaturitY Model</i>)	35
4.3.2. Interpretação de resultados da avaliação de <i>readiness</i>	37
4.4. Análise dos processos a trabalhar	39
4.4.1. Pré tratamento e pintura por Eletrodeposição Catódica (PT-ED).....	40
4.4.2. Análise dos processos de Manutenção	42
4.5. Análise e tratamento do histórico de avarias do PT-ED.....	48
4.6. Propostas de melhoria – Definição do <i>TO-BE</i>	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
5.1. Conclusão	58
5.2. Limitações	59

5.3. Trabalho futuro	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
[ANEXO A] – Esquema das fases de desenvolvimento para se atingir a Indústria 4.0 de “The Acatech Industrie 4.0 Maturity Index”	66
[ANEXO B] – Esquemática do mergulho no processo de pintura ED	66
[ANEXO C] – Folhas de Verificações diárias de manutenção na pintura	67
[APÊNDICE A] - Revisão da Literatura de modelos de Readiness para a Indústria 4.0....	68
[APÊNDICE B] – Value stream map do processo produtivo – linha lc70	71
[APÊNDICE C] – BPMN do processo de manutenção Preventiva.....	72
[APÊNDICE D] – BPMN do processo de manutenção Corretiva	73
[APÊNDICE E] – BPMN do processo de Monitorização e controlo da manutenção	74
[APÊNDICE F] – Descrição dos processos adaptados do dreamy	75
[APÊNDICE G] – Excerto da entrevista nº4 – <i>Team Leader</i> da Engenharia de processo – Processo A1.2. Execução da Produção	77
[APÊNDICE H] - Resultados de avaliação por dimensões e POR MACROPROCESSO	80
[APÊNDICE I] – BPMN restruturado do processo de manutenção Preventiva.....	81
[APÊNDICE J] – BPMN restruturado do processo de manutenção Corretiva	82
[APÊNDICE K] – BPMN restruturado do processo de Monitorização e controlo da manutenção.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estrutura lógica seguida na dissertação	3
Figura 2.1 Representação Conceptual dos termos “digitalização” (“ <i>digitization</i> ”), “digitalização de processos”, “Indústria 4.0” e “transformação digital”	7
Figura 2.2 Abordagem genérica à implementação da Indústria 4.0 (<i>Adaptado de: (Jung et al. 2016), SIRI () (De Carolis et al. 2017), (Schuh et al. 2017), (Ramanathan & Samaranayake et al. 2021), (Spaltini et al.2022)</i>)	14
Figura 2.3 Seleção dos Modelos para análise comparativa.....	15
Figura 2.4 Framework (Digital REadiness Assessment MaturitY Model) (<i>Fonte: De Carolis et al. 2017a</i>)	20
Figura 3.1 Metodologia para o desenvolvimento do caso de estudo	24
Figura 3.2. <i>Framework</i> para avaliação da realidade na TCAP (<i>Adaptado: De Carolis et al. 2017a</i>)	26
Figura 3.3 Calendarização do estágio curricular desenvolvido no âmbito desta dissertação	30
Figura 4.1 Distribuição de “ <i>Man Power</i> ” por secção	32
Figura 4.2 Lead Times por secção discriminado percentagem de TVA e TVNA	33
Figura 4.3 Proporção de Lead Time por secção.....	33
Figura 4.4 Distribuição dos resultados da avaliação de readiness da TCAP	36
Figura 4.5 Gráfico com médias das avaliações por dimensões e área	38
Figura 4.6 Gráfico comparativo de nível de maturidade das dimensões	39
Figura 4.7 Saída do PT (A) , Posto de lavagem Pré- ED (B), Mergulho no banho do ED (C) , Saída do banho do ED (D), Chuveiros pós ED (E).	41
Figura 4.8 Esquema Evidências-Problemas-MUDA	46
Figura 4.9 - Gráfico do total dos custos de avaria por zona do PT ED e ano	50
Figura 4.10 Gráfico de dispersão das causas e respetivos custos de avaria e TPP totais...	51
Figura 4.11 Diagrama de Pareto Causa-TPP.....	52
Figura 4.12 Diagrama de Ishikawa para as causas de avaria definidas como “Não identificadas”	53
Figura 4.13 Propostas de melhoria por metas baseadas nos níveis e requisitos para a digitalização de processos definidas por Schuh et al (2017) e De Carolis et al. 2(017) adaptadas ao caso de estudo	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Barreiras/Desafios à implementação da Indústria 4.0	10
Tabela 2.2 Características particulares de PMEs relativamente a barreiras/desafios e oportunidades/benefícios	11
Tabela 2.3 Descritor adaptado do CMMI para os níveis de maturidade do DREAMY (Adaptado de: (De Carolis et al., 2017a))	18
Tabela 3.1 Matriz de avaliação (Adaptada da Tabela 2.3)	27
Tabela 4.1 Macroprocessos avaliados por cada entrevista/entrevistado.	35
Tabela 4.2 MUDA associados ao processo de Manutenção Preventiva	43
Tabela 4.3 MUDA associados ao processo de Manutenção Corretiva	44
Tabela 4.4 MUDA associado ao processo de Monitorização e Controlo na Manutenção especificado às monitorizações diárias realizadas na zona do PT-ED.....	45
Tabela 4.5 Matriz de relação MUDA-Problemas.....	47
Tabela 4.6 Tempo de paragem de produção causado pela avaria em componentes por zona e ano	50

SIGLAS

PME – Pequena-média empresa

MGE – Média-grande empresa

MES – Sistema de gestão dos processos produtivos no chão de fábrica

CMMS – Sistema de gestão da manutenção computadorizado

ML – Nível de maturidade

ICTs – Tecnologias da Comunicação e Informação

CKD – Kit recebido na fábrica com todas as partes soltas do carro para montagem

ERM – *Enterprise Risk Management software*

TM – Team Member

TL – Team Leader

GL – Group Leader

MTBF – Tempo médio entre duas avarias

MTTR – Tempo médio de reparação

KPIs – *Key Performance Indicators*

TPP – Tempo de paragem de produção devido a avaria

TP – Tempo de paragem de um equipamento para diagnóstico e reparação

Erro! A origem da referência não foi encontrada.

1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação foi escrita em contexto empresarial, pelo que representa o trabalho desenvolvido durante um estágio curricular realizado na Toyota Caetano Portugal – Fábrica de Ovar, a qual será referida como TCAP.

O presente capítulo serve de introdução e contextualização ao trabalho exposto, iniciando-se por uma breve exposição da principal motivação que levou à escolha do tema, passando pelos objetivos e metas definidos e, por fim, uma breve descrição da sua estrutura.

1.1. Contextualização e Motivação

No nosso quotidiano, atualmente, estamos rodeados de informação acessível a “todos” a “qualquer hora” através de “qualquer dispositivo móvel”. No entanto, há pouco mais de 30 anos seria impensável garantir tal “acessibilidade”. A motivação do tema escolhido para esta dissertação, parte precisamente da compreensão de como este paradigma se tem vindo a estender à indústria e de que forma esta “acessibilidade” está a revolucionar os processos, metodologias e competências, e que mudanças são necessárias para uma organização se manter competitiva no mercado.

A “acessibilidade” acima referida, só é possível graças à digitalização da informação e da integração das novas tecnologias no nosso quotidiano. Por sua vez, a sua adaptação e aprofundamento ao contexto industrial, é frequentemente referida como Indústria 4.0 ou digitalização dos processos produtivos e organizacionais.

Neste sentido, o que se depreende, é que o “Engenheiro Gestor” pode realmente fazer a diferença na implementação dos projetos no âmbito da Indústria 4.0 e da transformação digital das empresas, uma vez que, em particular no contexto industrial, pode representar uma ponte importante entre as mais variadas áreas da engenharia (Tecnologia) e da gestão organizacional (Organização).

1.2. Objetivos e Estrutura

Sendo esta dissertação desenvolvida em contexto empresarial, inicialmente foi realizada uma reunião de definição de objetivos com o Diretor da fábrica, o Diretor Técnico,

o *Team Leader* da Engenharia de Processo, o *Group Leader* da Manutenção responsável pelos equipamentos críticos e o *Team Member* responsável pela Gestão de alterações, conjunto este de profissionais que iriam acompanhar o trabalho a desenvolver ao longo dos 5 meses em estágio. O objetivo principal, ficou então definido como:

Objetivo principal: Analisar o estado atual da empresa em relação à implementação da Indústria 4.0 de forma a servir de suporte em apoiar a TCAP na implementação de soluções digitais nos seus processos industriais, com foco especial nos objetivos de aumento da produtividade.

Devido à complexidade do objetivo acima referido, e da sua dependência do estado atual inicial a avaliar, considerou-se oportuno dividir este objetivo em 4 metas que, ao longo do trabalho desenvolvido, foram sendo adaptadas conforme necessário:

- **Meta 1** - Fazer o levantamento do estado de maturidade atual dos processos AS-IS relativamente à Indústria 4.0.
- **Meta 2** – Definir e analisar os processos a trabalhar.
- **Meta 3** – Identificar propostas de melhoria e ganhos estimados.
- **Meta 4** – Definir o TO-BE desejado para os processos trabalhados.

A metodologia adotada face aos objetivos e metas definidos (Figura 1.1) pode ser considerada mista, pois englobou quer análises qualitativas/apreciativas quer quantitativas e encontra-se descrita no capítulo 3. A exploração prática do caso de estudo exposto nesta dissertação seguiu então a estrutura lógica da Figura 1.1, iniciou-se com uma avaliação qualitativa/apreciativa do estado atual, tanto do processo produtivo como dos processos de suporte, cujo primordial objetivo seria recolher o máximo de informação descritiva possível (Meta 1), de forma a se conseguir direcionar as restantes fases da metodologia. Estando o objeto de estudo selecionado (Meta 2), prosseguiu-se para a recolha, estruturação e tratamento quantitativo dos dados necessários de forma a sustentar decisões e propostas de melhoria de reestruturação dos processos atuais (Meta 3 e 4).

A proposta de valor do trabalho realizado, para a empresa em estudo, pode então ser caracterizada como uma primeira análise crítica e estruturada, com argumentos de interesse estratégico, que poderão representar uma base de suporte às futuras decisões relativamente à implementação de soluções digitais.

A proposição de valor em termos acadêmicos, passa pela revisão da literatura e pela adaptação e aplicação dos conceitos ao caso de estudo, pois, sendo o tema relativamente recente, pode representar uma sólida base de apoio a futuras dissertações ou trabalhos realizados sobre o tema da implementação da Indústria 4.0 e da digitalização de processos.

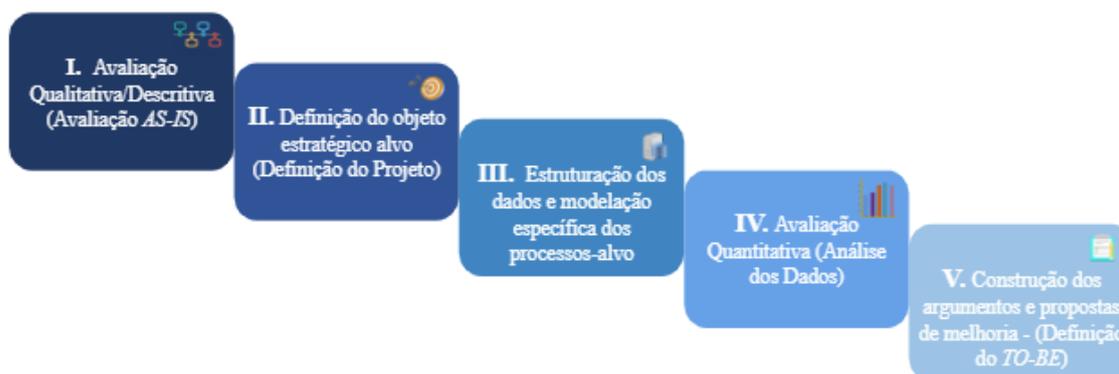


Figura 1.1 Estrutura lógica seguida na dissertação

Relativamente à estrutura do documento este está dividido na parte teórica – capítulo 2 e na parte de desenvolvimento do caso de estudo – capítulo 4. Já o capítulo 3 referente à metodologia estruturada pretende apresentar as adaptações realizadas à teoria estudada para pôr em prática o desenvolvimento do caso de estudo, assim como, fazer um enquadramento de todo o trabalho desenvolvido ao longo do estágio curricular. Por fim, o capítulo 5 pretende levantar as principais conclusões retiradas do trabalho desenvolvido, apontar as limitações sentidas nesse desenvolvimento e direcionar futuros trabalhos no tema.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

A presente revisão da literatura, procura sintetizar a informação recolhida considerada relevante para um correto enquadramento nos temas em torno dos quais se insere o trabalho desenvolvido nesta dissertação.

Sendo o conceito de Indústria 4.0 o ponto de partida, procurou-se iniciar a pesquisa através de uma contextualização histórica sobre o tema, seguida do esclarecimento de conceitos importantes como “digitalização” (“*digitization*”), “digitalização de processos” (“*process digitalization*”) e “transformação digital”, complementando esta contextualização com a análise de fatores que representam barreiras ou desafios à implementação da Indústria 4.0 nas organizações. Por fim, tendo já conhecimento do problema proposto a tratar em contexto industrial, procurou-se aprofundar a pesquisa sobre as metodologias de avaliação do estado atual das organizações em relação à Indústria 4.0.

Este formato de pesquisa e enquadramento teórico em paralelo com o desenvolvimento do caso de estudo, foi adotado com o intuito de que esta dissertação conseguisse apresentar uma proposta de valor sustentada, não só para a empresa em estudo como também para fins académicos.

2.1. Introdução à Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 foi apresentado pela primeira vez durante a Hannover Fair em 2011, e entende-se que seja representativo de uma “quarta revolução industrial” (Vogel-Heuser, 2016).

De uma perspetiva de evolução da indústria, se por um lado a primeira revolução industrial foi reconhecida através do desenvolvimento da produção mecânica com a ajuda da água e do vapor, por outro a segunda ficou caracterizada pela produção em massa impulsionada pela utilização da eletricidade. Já a terceira, considera-se pioneira na utilização das tecnologias eletrónicas e da informação que veio potenciar a implementação de soluções com base na automação. Então, esta quarta revolução industrial, deriva da disponibilidade das tecnologias emergentes, nomeadamente dos sistemas ciber físicos (CPS), da Internet das

Coisas (IoT), da Computação em Nuvem e da Big Data Analytics, que pretendem eliminar as barreiras entre a fábrica física e o virtual e a rede (Xu et al., 2018; Machado et al., 2019).

Embora muitos autores admitam não existir uma definição totalmente correta e aceite do conceito de Indústria 4.0 (Salkin et al., 2017), os objetivos são claros: com base na digitalização de processos, através de tecnologias de capacitação adequadas e da integração dos CPS, esta torna possível o desenvolvimento de fábricas inteligentes (SF) (Alcácer & Cruz-Machado, 2019), flexíveis e dinâmicas cujo primordial objetivo será sempre atingir níveis de eficiência operacional, automação e produtividade mais elevados, bem como de desenvolver equipamentos e sistemas inteligentes que tenham as capacidades de se auto-otimizar e reconfigurar (Lu, 2017).

Lasi et. al., (2014) defendem que a emergência do conceito de Indústria 4.0 pode ser justificada por um sistema de forças *pull-push*. O seu argumento baseia-se no lado *pull* estar representado pela indústria e as necessidades de resposta sentidas, e o *push* pelos avanços tecnológicos, que se pressupõe que venham a responder a essas necessidades. Segundo esta teoria, do lado *pull*, temos então a mudança necessária na indústria para responder aos mercados e consumidores com: menores períodos de desenvolvimento de novos produtos (*time-to-market*), com a customização de produtos que surge devido à crescente individualização da procura (*batch-size-one*), com a descentralização de dados para proporcionar uma mais rápida tomada de decisão nas organizações e, por fim, com a necessidade de aumentar a eficiência dos processos produtivos, quer do ponto de vista económico, devido ao aumento dos preços das matérias primas, quer do ponto de vista ecológico. Por outro lado, no lado *push* temos a disponibilidade das novas tecnologias (p.e. RFID, IoT, WSN, Computação em Nuvem, etc) que tendo elas já integrado o nosso dia a dia, no contexto industrial ainda carecem de alguma penetração. No entanto, cada vez mais se veem reunidas as condições para tal consequência da crescente automação das máquinas e sistemas de produção, do crescimento da digitalização (“*digitization*”) as redes capazes de ligar todos os componentes de uma fábrica e, principalmente, da revolucionária miniaturização que torna mais cómodo e convidativo a implementação de todas estas novas tecnologias no contexto industrial. (F. Yang & Gu, 2021)

Embora esta dissertação se intitule de "Análise e propostas de melhoria para a digitalização de processos em contexto industrial", este enquadramento teórico é feito dentro do tópico “Indústria 4.0” e posteriormente ainda serão frequentemente utilizados os termos

“transformação digital” e “digitalização” (“*digitization*”), o que pode levantar algumas dúvidas como: “Qual será a relação entre estes conceitos?”. Na literatura, é notória a falta de uma clara especificidade e separação conceptual dos termos digitalização (“*digitization*”) “digitalização de processos” (“*process digitalization*”) e “transformação digital”, frequentemente utilizados no contexto da Indústria 4.0 e no desenvolvimento de projetos de implementação de tecnologias digitais, ficando muitas vezes estes sujeitos à subjetividade da interpretação do autor (Bajic et al., 2021). Posto isto, considerou-se oportuno definir, esquematizar (Figura 2.1) e contextualizar a sua abrangência no âmbito do presente caso de estudo.

Digitalização ou, em inglês, “*digitization*” provém do termo “digital” e é representativo da conversão da informação física ou analógica para um formato digital (Gartner 2022). Atualmente, a digitalização (“*digitization*”) dos dados recolhidos dos processos durante todo o ciclo de vida do produto, suportada por tecnologias da informação e comunicação (ICT), representa um requisito importante na implementação da Indústria 4.0 (Ghobakhloo, 2019), estando este conceito subjacente à ideia da eliminação do papel nos processos, que todos associamos, no nosso quotidiano, a uma transformação “para o” digital. (McLaughlin, 2017) refere se ao termo “digital” como “algo em termos do que é necessário para e não especificamente relacionado com a tecnologia em si que atualmente é utilizada para atingir os objetivos que se pretendem atingir”, entre os quais o mais fácil acesso à informação para uma mais rápida tomada de decisão. Ou seja, o que se depreende é que a digitalização (“*digitization*”) é um requerimento base para os restantes conceitos (Castelo Branco et. al., 2016; Ghobakhloo, 2019).

Já a digitalização dos processos em si, refere-se à forma como as várias infraestruturas, sistemas e fluxos de comunicação e informação são reestruturadas e reorganizadas nos processos atuais ao nível de toda a organização, em torno da informação digital e das novas tecnologias a adotar (Brennen & Kreiss, 2016; Li et al., 2009). No entanto, (Ghobakhloo, 2018) refere que a Indústria 4.0 requer não só a digitalização de processos, como também de produtos e sistemas bem como da sua interconexão, não apenas dentro das próprias áreas funcionais, mas sim, de toda a cadeia de valor entre si. Isto é, para além da digitalização de processos o conceito da Indústria 4.0 ainda abrange características diferenciadoras como a conectividade, a virtualização, a autonomia e a troca de dados em tempo real (Culot et al., 2020), pelo que, podemos considerar que em termos conceptuais a

digitalização de processos, em contexto industrial, é uma necessidade à implementação da Indústria 4.0.

Por fim, chegamos ao conceito de transformação digital sobre o qual parece não existir uma unânime concordância na literatura em relação ao mesmo. No entanto, (Cullot et al., 2020) procuraram encontrar distinções em relação a vários termos utilizados na literatura pelos autores aquando se referem à Indústria 4.0, entre os quais “transformação digital”. Face às evidências, admite-se que o termo transformação digital, embora não seja tão frequentemente utilizado em contexto industrial (algo que pode ser justificado por este ser transversal aos mais variados setores económicos e da sociedade) (Castelo Branco et. al., 2016), quando utilizado neste contexto, não se refere tão especificamente às tecnologias em si como a Indústria 4.0, mas sim é considerado uma “amplificação do termo às implicações que as novas tecnologias implementadas com a Indústria 4.0 têm na inovação dos modelos de negócio e na estratégia das empresas” (Machado et. al., 2021). Ou seja, transformação digital refere-se sim a um processo de mudança contínua mais aprofundada dos modelos de negócio, dos processos e das competências digitais, necessárias numa organização para que seja possível efetivamente beneficiar da implementação das novas tecnologias associadas ao paradigma da Indústria 4.0 (Machado et al., 2019).

A Figura 2.1 pretende representar, exclusivamente de uma perspetiva conceptual, a abrangência dos conceitos acima descritos, face à interpretação da literatura no âmbito desta dissertação.



Figura 2.1 Representação Conceptual dos termos “digitalização” (“*digitization*”), “digitalização de processos”, “Indústria 4.0” e “transformação digital”

2.2. Implementação da Indústria 4.0

A jornada que é a digitalização dos processos para a implementação da Indústria 4.0 numa empresa é extensa, e, portanto, deve ser conquistada por fases de implementação (Schuh et al., 2017). No entanto, como não existe uma solução única e adaptável a qualquer empresa (Tripathi & Gupta, 2021), é de notar uma crescente necessidade de investigação quanto aos problemas, desafios e soluções ao nível do desenho, implementação e gestão da Indústria 4.0 (Xu et al., 2018).

Embora possam ser encontrados bastantes estudos e revisões relativamente aos problemas, desafios e oportunidades/benefícios da implementação da Indústria 4.0, no que toca ao desenho e gestão da mesma isso já não se verifica. A literatura ainda carece de modelos que tenham em atenção a totalidade dos requisitos tanto organizacionais como tecnológicos, e principalmente das suas inter-relações ao nível do desenho e gestão, bem como, que esses mesmos modelos sejam adaptáveis a qualquer empresa independentemente do seu tamanho ou indústria. Face a este *gap* na literatura, (Dillinger et al., 2022) procuraram ser pioneiros e desenvolver uma *framework* de referência com as fases de implementação da Indústria 4.0 e respetivas inter-relações, mas apenas ao nível tecnológico. Porém, é de realçar a importância deste estudo, uma vez que revela que é uma temática de facto em desenvolvimento e de elevado interesse prático para quem pretenda desenvolver um plano de implementação da Indústria 4.0.

Posto isto, e como o objetivo principal desta dissertação passa por apresentar propostas para a aplicação de soluções digitais no âmbito da Indústria 4.0 à empresa em estudo, serão apresentadas, na seguinte secção, algumas barreiras/desafios a ter em consideração.

2.2.1. Barreiras/Desafios à implementação da Indústria 4.0

As principais barreiras/desafios encontrados na literatura encontram-se resumidas na Tabela 2.1, tendo sido analisados maioritariamente artigos de revisão no tópico. Estas estão divididas em: barreiras/desafios de foro organizacional ou de gestão - relacionadas com as alterações e adaptações necessárias ao nível dos processos e relações intra e interfuncionais na organização; do foro tecnológico - mais especificamente relacionadas com as novas tecnologias e respetivas barreiras/desafios técnicos ou físicos que possam surgir ao nível do

processo produtivo; e barreiras/desafios ao nível dos recursos necessários - sejam eles constrangimentos monetários, humanos, ou de tempo.

Como é de notar, existe um elevado número de barreiras identificadas na literatura e naturalmente, a representatividade de cada uma irá sempre depender da situação e ambiente em particular que a empresa se encontra. No entanto, parece existir concordância no facto de as principais barreiras/desafios estarem relacionadas com “falta de estratégia”, a “falta de recursos financeiros e competências” ou com estado atual de “baixa maturidade nas tecnologias” e equipamentos em utilização, o que vai de encontro aos estudos e conclusões retiradas por (Raj et al., 2020). É de salientar, que grande parte das barreiras/desafios identificadas são consequência de outras e essa correlação não é estudada. Por exemplo, com a “Falta de competências” será de esperar que sejam “necessários elevados esforços de implementação”, como tempo ou investimento financeiro em formação. Ou, “diferentes fornecedores/marcas de equipamentos” a par com a “elevada complexidade das infraestruturas e sistemas de produção” naturalmente podem contribuir para que sejam sentidas “dificuldades de instalação” das soluções digitais. Contudo, pensa-se ser importante fazer a sua separação pois são barreiras/desafios que ocorrem em diferentes fases da implementação e a atender em separado aquando da análise do caso de estudo.

Posto isto, como (Masood & Sonntag, 2020) escreveram "os desafios surgem frequentemente cedo, enquanto, os benefícios muitas vezes apenas mais tarde". Serve então esta análise prévia para que se possam antecipar barreiras/desafios aplicáveis ao caso em estudo, para se definirem estratégias ou contramedidas apropriadas para combater as mesmas, e incluir essas mesmas ações desde logo no plano de implementação (Raj et al., 2020).

Tabela 2.1. Barreiras/Desafios à implementação da Indústria 4.0

<u>Gestão/Organizacionais</u>	<u>Tecnológicos</u>	<u>Recursos</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de uma estratégia específica para a Indústria 4.0 (Bajic et al. 2021); • Falta de ferramentas de planeamento para a implementação (Ramanathan & Samaranayake, 2021); • A variabilidade das SMEs entre elas torna difícil as avaliações (Masood & Sonntag, 2020); • Incerteza associada aos investimentos (Bajic et al., 2021); • Falta de visão, capacidade de reconfiguração e compromisso à implementação (Bajic et al., 2021); • Falta de standardização (Ramanathan & Samaranayake, 2021), (Bajic et al., 2021); • Relutância à mudança (Muller et al. 2018)), (Ramanathan & Samaranayake, 2021), • Integração de Dados (Khan & Turowski, 2016); • Flexibilidade de Processo (Khan & Turowski, 2016), (Muller et al., 2018); 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de maturidade tecnológica com produtos/equipamentos incapazes de suportar novos sistemas (p.e. não integração de um sistema de produção) (Ramanathan & Samaranayake, 2021); • Diferentes fornecedores/marcas de componentes (p.e. sensores, máquinas, robots, etc) com sistemas de comunicação operativa diferente (Ghobakhloo, 2018); • Limitações de awareness - abundância de tecnologias para as SMEs estarem a par; (Masood & Sonntag, 2020); • Insuficiente desenvolvimento e/ou elevada complexidade das infraestruturas e sistemas de produção (Bajic et al., 2021); • Dificuldades de instalação no chão de fábrica – subcontratação de serviços (Bajic et al., 2021) • Riscos de cibe segurança (Ramanathan & Samaranayake, 2021), (Khan & Turowski, 2016), (Bajic et al., 2021); 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitações de recursos financeiros/Falta de financiamento (Masood & Sonntag, 2020), (Ramanathan & Samaranayake, 2021); • Falta de competências de extração, transformação processamento e análise de Dados (Machado et al. 2019, (Bajic et al., 2021)); • Limitações de recursos de conhecimento e skill dos trabalhadores – necessidade de investimento em treino de pessoal (Masood & Sonntag, 2020), (Muller et al. 2018), (Ramanathan & Samaranayake, 2021), (Bajic et al. 2021), (Sony 2020); • Necessários altos esforços de implementação (p.e. tempo) (Muller et al., 2018) (Masood & Sonntag, 2020);

2.2.2. Implementação da Indústria 4.0 em PMEs

As PMEs são uma força impulsionadora de muitas economias. Teoricamente estas têm uma maior capacidade de inovação devido a sua estrutura organizacional plana e maior flexibilidade (Saad et al., 2021), no entanto, a grande maioria sente falta de recursos para explorar além das suas competências. O que se reflete em que estas tendam em não ser

identificadas como “*early adopters*” na implementação da Indústria 4.0, por receio de investir nas tecnologias erradas ou de adotar métodos pouco adequados. (Mittal et. al, 2018)

Na Tabela 2.2, encontram-se algumas características encontradas na literatura, de estudos que procuram perceber as particularidades das PMEs, tanto em relação a barreiras/desafios, como oportunidades/benefícios em relação à implementação da Indústria 4.0, complementares às já identificadas na generalidade das empresas.

Tabela 2.2 Características particulares de PMEs relativamente a barreiras/desafios e oportunidades/benefícios

Autor	Características das PMEs identificadas
(Dillinger et al. 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Têm problemas em implementar tecnologias de forma direcionada e estruturada na produção; • Elegem as principais razões para as dificuldades sentidas como sendo: a falta de <i>know-how</i> e a falta de uma estratégia de implementação;
(Masood & Sonntag, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Benefícios da implementação da Indústria 4.0 são mais visíveis em PMEs de maior dimensão; • É particularmente desafiante para PMEs: a utilização de tecnologias RFID para processamento de dados, utilização de interfaces em dispositivos móveis, utilização de máquinas com ligação à Internet, utilização de TIC para identificar estados de produção, a introdução de IoT na produção, a implementação de controlo automático nos processos de entrega e a introdução da gestão autónoma do inventário. • PMEs deviam investir em formação e suporte – realçam o sucesso obtido com <i>hands-on workshops</i>; • A principal causa enumerada para a falta de <i>awareness</i> tecnológico é a falta de tempo;
(Moeuf et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Concluem que os maiores riscos são a falta de peritos e de um <i>mindset</i> de estratégia a curto prazo; • Aconselham o acompanhamento por <i>experts</i> externos;
(Muller et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Concluem que PMEs são tendencialmente mais atraídas à implementação da Indústria 4.0 devido a oportunidades operacionais, como por exemplo, maior eficiência, timing, flexibilidade, qualidade, etc.

Algo que estes estudos têm em comum é, desde logo, afirmarem que efetivamente são escassos os estudos e soluções que têm em atenção as especificações das PMEs na implementação da Indústria 4.0 (Basl and Doucek, 2019). O comum é estes

focarem-se em grandes empresas e tratem PMEs de forma similar no seu caminho em direção à Indústria 4.0 (Mittal et al., 2018). No entanto, as PMEs tendem a estar particularmente sobrecarregadas com decisões, sejam elas estratégicas ou operacionais, sobre “o quê, porquê, quando, onde, quem e como” podem elas integrar as diferentes tecnologias nos seus processos e modelos de negócio (Mittal et al., 2018). Um bom ponto de partida para refletir sobre as questões acima referidas passa pela aplicação dos modelos de *readiness* e maturidade ao contexto da Indústria 4.0, algo que será explorado no seguinte subcapítulo.

2.3. Modelos de avaliação de *Readiness* e Maturidade

Antes de iniciar a revisão da literatura para selecionar um modelo a utilizar num caso de estudo específico, existe uma importante distinção a compreender entre o que são modelos de maturidade (*Maturity Models*) e o que são modelos de avaliação de *readiness* (*Readiness Assessment Models*), que representam os termos mais frequentemente utilizados para intitular modelos e frameworks desenvolvidas com intuito de caracterizar o estado atual nos mais variados contextos.

Naturalmente, o termo de *readiness* pode ser desde logo entendido, em português, como “prontidão” ou “nível de preparação”, mas o que é verdadeiramente importante é distinguir este termo de “maturidade” e em que circunstâncias devem ser aplicados cada um dos modelos associados. Schumacher et. al., (2016) distinguem “Maturidade” como sendo um estado completo, perfeito ou pronto, ou seja, um estado objetivo (“*target state*”) e como tal afirma que os modelos de maturidade ou as avaliações feitas com base nestes modelos, pretendem caracterizar a posição de uma organização dentro do processo de maturação relativamente ao “*target state*” definido, portanto, parte-se do pressuposto que a empresa já deu início a esse processo. Já o termo “*readiness*” distingue-se como um termo de caracterização de uma organização antes de se iniciar o processo de maturação. Mittal et. al., (2018) definem as avaliações de *readiness* como ferramentas para determinar o nível de preparação, quer em termos de condições, quer de recursos, ou mesmo de atitude, a todos os níveis de uma organização ou sistema que sejam considerados necessários para se dar início ao processo de maturação e atingir o objetivo desejado.

2.3.1. Modelos de avaliação de *Readiness* e Maturidade no contexto da Indústria 4.0

Uma vez que o conceito de Indústria 4.0 é relativamente recente, também o início do desenvolvimento dos modelos de *Readiness* e Maturidade nesse contexto o é, tendo sido a grande maioria destes desenvolvidos nos últimos 6 anos. (Hizam Hanafiah et al., 2020)

Segundo Felch et al., (2019) de uma perspectiva de desenvolvimento podemos separá-los naqueles desenvolvidos em ambiente científico/académico e nos desenvolvidos por consultorias/na indústria, encorajando a utilização dos de *background* científico/académico pela sua validade e fiabilidade, mas destacando os desenvolvidos por consultorias ou na indústria por serem mais práticos e objetivos (pragmáticos). Segundo Dillinger et al., (2022) a grande maioria dos modelos são originários de projetos de investigação ou contribuições científicas, no entanto, realça que muitos não são adequados para autoaplicação, ou porque são considerados propriedade intelectual e não estão disponíveis, ou porque são demasiado complexos para as empresas os utilizarem como ferramentas de suporte livremente.

Os modelos de *readiness* e maturidade, ajudam as empresas a refletir sobre as suas capacidades atuais relativamente à Indústria 4.0 e ao serem, na sua grande maioria, separados por dimensões a serem avaliadas (p.e. estratégia, pessoas ou operações), encaminham as empresas na identificação das áreas que requerem uma maior atenção (Maisiri & van Dyk, 2019; Tripathi & Gupta, 2021). Mais especificamente, os modelos de *readiness* ajudam a definir o ponto de partida para iniciar o processo de desenvolvimento. (Sony & Naik, 2020; Schumacher et al., 2016). Por sua vez, tendo por base a avaliação por áreas/dimensões, as empresas conseguem explorar oportunidades específicas que possam ser despoletadas por tecnologias digitais e que, em contrapartida, permitem as empresas definir benefícios estratégicos e o “estado objetivo” que pretendem atingir. (Schuh et. al., 2017; De Carolis et. al., 2017a). Sem um conhecimento aprofundado e adequado do seu estado atual de digitalização não é possível refletir sobre que passos são necessários para uma bem sucedida transformação digital (De Carolis et al., 2017a).

A Figura 2.2 representa uma primeira interpretação da literatura face às várias abordagens que podem ser tomadas para uma bem sucedida transformação digital. No contexto do presente enquadramento, pretende-se posicionar a utilidade e importância dos modelos de *Readiness* e Maturidade no contexto da Indústria 4.0 (passo 2), como

ferramentas indispensáveis à digitalização de processos e à resultante implementação da Indústria 4.0, realçada neste subcapítulo.

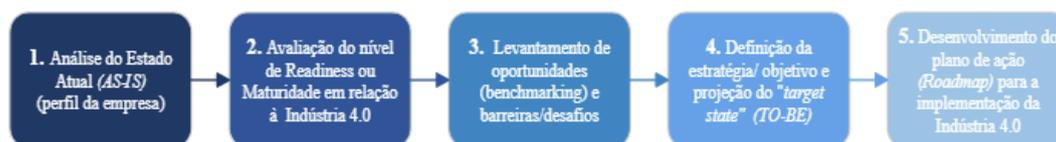


Figura 2.2 Abordagem genérica à implementação da Indústria 4.0 (Adaptado de: (Jung et al. 2016), SIRI () (De Carolis et al. 2017), (Schuh et al. 2017), (Ramanathan & Samaranayake et al. 2021), (Spaltini et al.2022))

De Carolis et. al., (2017a) afirma que “uma bem-sucedida transformação digital de uma organização passa por, em primeiro lugar, conhecer aprofundadamente o estado atual de digitalização dos seus processos”. Como definido em 2.1., a digitalização de processos, em termos conceptuais, representa um requisito à implementação da Indústria 4.0. Schuh et. al., (2017), confirma essa premissa acrescentando que para atingi-la é necessário garantir a informatização e a conectividade (Anexo A).

Nesse sentido, ao nível tecnológico, para garantir a informatização e a conectividade, é notória a crescente abundância de alternativas que têm vindo a ser desenvolvidas. Consequentemente, as empresas, precisam de cada vez mais fazer uma atenta e pormenorizada seleção e priorização destas tecnologias. No entanto, outras melhorias podem ser necessárias para receber um maior benefício da tecnologia selecionada (Jung et al., 2016). Schuh et al., (2020) dá o exemplo dos sistemas de assistência à montagem, mesmo que um sistema destes seja bem instalado o valor que acrescenta à operação está inteiramente dependente de fatores como a compatibilidade com os processos e sistemas e as competências e aceitação do trabalhador que dele irá usufruir. Adicionalmente, há ainda muitas interações entre as tecnologias individuais que devem ser consideradas quando se cria uma sequência de implementação de referência para as empresas. Pois, existem ainda as inter-relações prévias das próprias tecnologias entre elas que devem também ser tidas em conta (Dillinger et al., 2022).

O que se pretende salientar, é que na escolha do modelo a aplicar e medidas a tomar, não basta apenas focar nas análises técnicas e tecnológicas face às necessidades, mas é sim, crucial que exista um paralelismo nestes modelos e resultantes planos de implementação que

tenham em conta tanto os aspetos técnicos e tecnológicos como igualmente a dimensão humana e organizacional e respetivas inter-relações (Schuh et al., 2020).

2.3.2. Análise comparativa de Modelos de avaliação de Readiness e Maturidade no contexto da Indústria 4.0

De forma a seleccionar o modelo mais adequado ao caso de estudo, procurou-se fazer uma revisão estruturada da literatura utilizando o motor de pesquisa SCOPUS e alguns artigos sugeridos por especialistas da área.

Como exposto no início deste capítulo, esta pesquisa foi feita depois de conhecer os processos e dinâmicas da empresa que se pretendia avaliar. Então, tendo em conta que não se encontrava definido nenhum estado objetivo (“*target state*”) e era notório o reduzido grau de digitalização dos seus processos, concordou-se que a empresa em estudo ainda não teria iniciado o seu processo de maturação em direção à Indústria 4.0. Face ao exposto, foram consideradas as seguintes palavras-chave no motor de pesquisa: “*Readiness Model*” e “*Industry 4.0*”.

No final deste processo de seleção chegou-se a um total de doze modelos analisados (Figura 2.3), tendo os restantes oito sido considerados como referências bibliográficas, por ou serem artigos de revisão ou de aplicação de modelos já existentes.

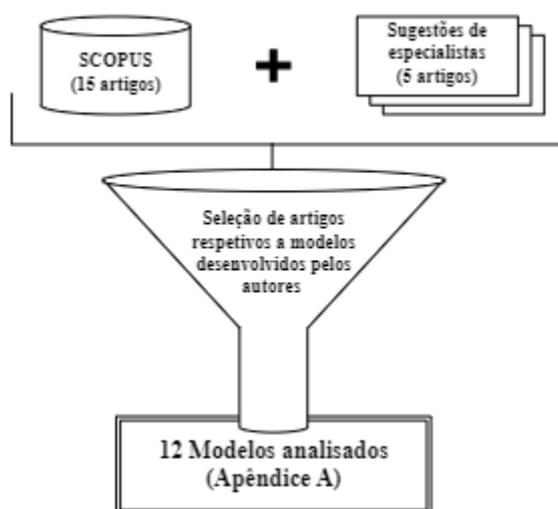


Figura 2.3 Seleção dos Modelos para análise comparativa

Após a análise como razões de exclusão destacam-se, por exemplo, a forma generalizada com que as dimensões são descritas, que se reflete em insuficiente informação

para a aplicação do modelo sem a assistência de *experts*, a inadequabilidade a PMEs com modelos com requerimentos de primeiro nível demasiado exigentes, e ainda, alguns modelos construídos para indústrias específicas ou avaliações de economias inteiras de países (Apêndice A). Razões estas vieram confirmar as críticas já expostas por outros autores (Basl & Doucek, 2019; Mittal et al., 2018; Hizam Hanafiah et al., 2020).

Face à análise resumida no Apêndice A, cinco destacaram-se como sendo os mais apropriados para o caso de estudo, tendo sido estudados mais aprofundadamente, foram eles: o SIRI, o DRC, o I4.0RAF, o DREAMY e o “*The Acatech Industrie 4.0 Maturity Index*”.

O SIRI foi desenvolvido pela Direção de Desenvolvimento Económico de Singapura (EDB) com o apoio da McKinsey, da SAP, da Siemens e da TUV SUD. O que tornou o SIRI apelativo para uma análise mais aprofundada foi o facto de que para além da avaliação de *readiness* de 16 dimensões, este ainda possui uma matriz de priorização complementar cujo objetivo seria servir de suporte para calcular o impacto que medidas de melhoria para cada dimensão teriam quando aplicadas. Algo particularmente importante, dado que, ajudaria a reduzir a incerteza em relação a quais seriam os próximos passos a tomar face à avaliação, que em 2.2.1 vimos que é uma das barreiras/desafios à implementação da Indústria 4.0 (Kiang et al. 2019)

Apesar de este modelo ter sido testado por Li et al. (2018) em 80 empresas afirmando que era possível as empresas autoavaliarem-se, confirmando a sua aplicabilidade na área da indústria transformadora, o que se verificou após a análise foi que a utilização do SIRI requeria ou ser-se um “SIRI Acessor” ou contactar um.

O *Digital Readiness Check* (DRC) é uma ferramenta de auto avaliação online desenvolvida pela União Europeia. Avalia o grau de desenvolvimento das empresas em relação à Indústria 4.0 e atribui um especial foco em aspetos da cadeia de abastecimento. Complementarmente, ainda faz a diferenciação entre SMEs e grandes empresas. Este modelo revelou-se atrativo porque para além de ser metodologicamente bem construído ainda possui disponível bastante informação relativamente ao método de avaliação (todos os tópicos do questionário são disponibilizados) (Lassing et al. 2021). No entanto, cerca de um terço dos itens do questionário são relativos à cadeia de abastecimento, o que se considerou não adequado para a realidade na TCAP.

O I4.0RAF foi desenvolvido no âmbito de um estudo na área da Indústria 4.0 que pretendia responder à questão: “como pode ser avaliada a *readiness* para a Indústria 4.0 ao

nível de uma empresa tendo em consideração a área estratégica, a tecnologia e as operações?”. O que destacou este modelo, para além das suas dimensões bastante adequadas e abrangentes (16 dimensões incluindo uma relativamente à área da manutenção), foi o facto de ter sido testado na indústria automóvel, onde o presente caso de estudo se insere. Embora tenha sido encontrada a totalidade do método de classificação do I4.0RAF (Ramanathan, 2020), o que se verificou é que os níveis mais baixos (nível 0 e 1) da grande maioria das dimensões era demasiado exigente para a realidade na TCAP (Ramanathan & Samaranyake, 2021).

O “*The Acatech Industrie 4.0 Maturity Index*” surge de um contexto de investigação com base em casos de estudo. É dividido em áreas organizacionais e funcionais e ilustrado com 6 fases de desenvolvimento. O principal interesse deste modelo está nas duas fases de desenvolvimento iniciais relativamente à digitalização de processos (informatização e conectividade), prévia à Indústria 4.0, algo que para as empresas ainda estão a procurar desenhar o seu plano de ação, como é o caso da TCAP, se torna particularmente adequado. Para além disso, o facto de englobar tanto dimensões organizacionais como tecnológicas é de elevada importância para uma correta implementação como vimos em 2.3.1. O que levou, por fim, à exclusão deste modelo foi a elevada complexidade do modelo face à informação disponível do mesmo, não se considerando este um modelo que permitisse a autoavaliação, mas sim que requereria um consultor externo (Schuh et al. 2017 ; Mittal et al. 2018)

Face ao exposto, para o desenvolvimento deste caso de estudo considerou-se adequada a escolha do DREAMY, que será descrito em maior detalhe no capítulo seguinte.

2.3.3. DREAMY (*Digital REadiness Assessment MaturitY Model*)

O DREAMY foi construído fruto do *gap* existente na literatura, até à data do seu desenvolvimento, de um modelo com uma sólida metodologia e base teórica de construção capaz de avaliar as capacidades das empresas produtoras em termos de “prontidão” digital para a implementação da Indústria 4.0. Como tal, De Carolis et al. (2017a) procuraram construir o DREAMY com base na *framework* de De Bruin et al. (2005) para o desenvolvimento de modelos de maturidade.

O objetivo do DREAMY é avaliar a *readiness* digital de uma empresa através de uma escala de níveis de maturidade. Estes níveis baseiam-se nos princípios de enquadramento do *Capability Maturity Model Integration* (CMMI), com uma escala de cinco níveis genéricos,

que foi adaptada pelos autores (Tabela 2.3), após uma extensa revisão da literatura e de entrevistas com *experts*, a fim de reunir as definições e semântica dos níveis de maturidade especificamente para a caracterização da “prontidão” para a digitalização. Dessa forma o “nível de maturidade máximo” é, portanto, onde as empresas devem tender a se identificar, logo que estejam "prontas" para iniciar a sua transformação digital.

O CMMI foi desenvolvido com o intuito de ampliar a aplicabilidade do modelo CMM (*Capability Maturity Model*), pois este foi inicialmente construído para o desenvolvimento de *software*. O objetivo do CMMI seria, então, complementarmente, fornecer orientações de melhoria para os processos das organizações e a sua capacidade de gestão no geral (Royce, 2002).

Nos níveis de maturidade adaptados para o DREAMY, é de salientar a relevância atribuída aos termos “integração”, quer vertical quer horizontal, bem como intra e interempresarial, e da interoperabilidade. Estas são duas características frequentemente mencionadas e tidas como requeridas para garantir a conectividade. Que como mencionado em 2.1 é uma das particularidades da Indústria 4.0. De Carolis et al., (2017a) caracteriza-as como alavancas primárias para permitir a orientação digital.

Tabela 2.3 Descritor adaptado do CMMI para os níveis de maturidade do DREAMY (*Adaptado de: (De Carolis et al., 2017a)*)

Nível de Maturidade	Descrição/Classificação do estado atual do processo
ML1 - Iniciante	<ul style="list-style-type: none"> O processo é pouco controlado ou sem controlo. A gestão do processo é reativa e não possuiu a organização adequada ou as ferramentas tecnológicas necessárias para a construção de uma infraestrutura que permita repetibilidade/usabilidade/extensibilidade das soluções já utilizadas
ML2 - Gerido	<ul style="list-style-type: none"> O processo é parcialmente planeado e implementado. A gestão do processo é fraca devido à falta de organização e/ou tecnologias facilitadoras/de capacitação. As escolhas/decisões são orientadas por objetivos específicos de projetos únicos de integração e/ou por experiência do responsável de planeamento, o que demonstra uma maturidade parcial em gerir o desenvolvimento de infraestruturas.
ML3 - Definido	<ul style="list-style-type: none"> O processo é definido graças a boas práticas de planeamento e implementação em gestão de procedimentos. A gestão do processo é limitada por algumas <i>constraints</i> (limitações/restrições) ao nível das responsabilidades organizacionais e/ou tecnologias facilitadoras/de capacitação. Portanto, o planeamento e implementação do processo realça/revela alguns gaps/falta de integração e interoperabilidade na aplicação e na troca de informação.

ML4- Integrado/ (Interopera- bilidade)	<ul style="list-style-type: none"> • Como o processo é construído com base na integração e interoperabilidade de algumas aplicações e na troca de informação, pode se considerar totalmente planeado e implementado. A integração e interoperabilidade são baseadas em standards comuns na empresa, que por sua vez são adaptados/adotados com base nas melhores práticas standard intra e/ou cross-industry de estrutura organizacional e tecnologias facilitadoras/de capacitação.
ML5 - Orientado Digital- mente	<ul style="list-style-type: none"> • O processo é digitalmente orientado e baseado numa sólida tecnologia e infraestrutura numa empresa com grande potencial de crescimento que apoia – através de alto nível de integração e interoperabilidade – uma rápida, poderosa e segura troca de informação, em colaboração entre as funções empresariais e a tomada de decisão.

No contexto da aplicação deste modelo, integração será tida em conta como “um conceito utilizado para organizar seres humanos e máquinas a diferentes níveis, ao nível da área, da gestão e da organização, para produzir um sistema empresarial integrado”. E interoperabilidade como a "capacidade das empresas e entidades dentro dessas empresas de comunicar e interagir eficazmente".

Para avaliar as capacidades digitais das empresas que se inserem na indústria transformadora, o estudo feito para o desenvolvimento deste modelo, concluiu que não só as tecnologias utilizadas como suporte aos processos têm de ser consideradas, mas sim também, é necessário ter em atenção aos processos implementados e às estruturas organizacionais definidas, sem os quais uma empresa não será capaz de explorar as oportunidades que estas tecnologias oferecem, algo que vai de encontro com os trabalhos de Schuh et al., (2020) e Dillinger et al., (2022). Nesse sentido, este modelo estabelece 4 dimensões de análise:

1. Processos - para procurar compreender como são, funcionam, acontecem e desenvolvem;
2. Monitorização e Controlo – a fim de perceber como é feito o controlo, recebido o *feedback* da execução e feita a sua monitorização;
3. Tecnologia – para perceber que tecnologias suportam estes processos,
4. Organização – de forma a perceber como são as estruturas organizacionais desses processos.

A análise dessas dimensões é respetivamente feita em relação a áreas específicas e correspondentes macroprocessos. Tendo elas sido definidas como:

- A1.** Engenharia e Design;
- A2.** Gestão da Produção;

- A3. Gestão da Qualidade;
- A4. Gestão da Manutenção;
- A5. Gestão da Logística.

As áreas acima enumeradas são consideradas independentes e, por isso, é incentivado o adicionar e remover da avaliação das mesmas conforme tanto o contexto industrial como o serem fundamentais para a estratégia da empresa em estudo ou não. Estas áreas encontram-se divididas em macroprocessos como representado na Figura 2.4.

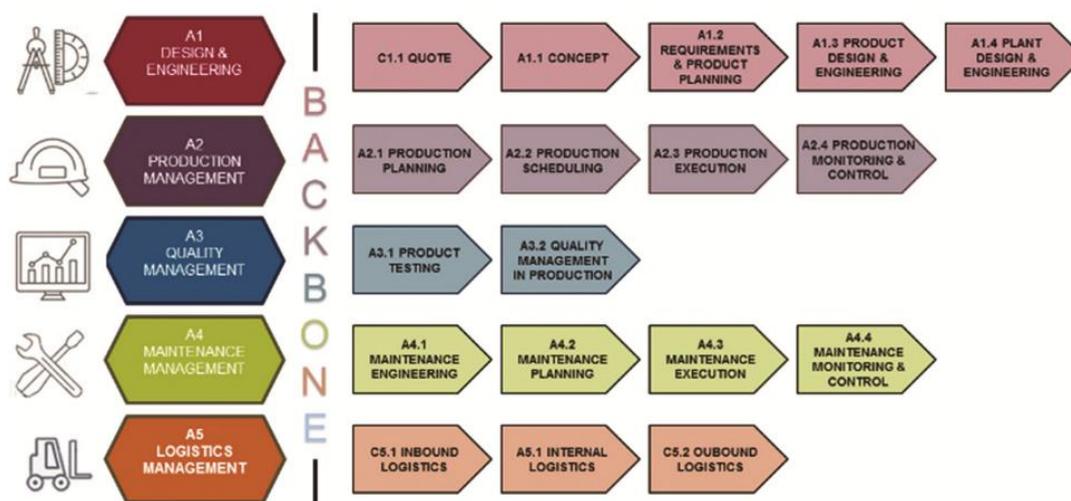


Figura 2.4 Framework (Digital REadiness Assessment MaturitY Model) (Fonte: De Carolis et al. 2017a)

A zona do “*Digital Backbone*” (Figura 2.4) procura representar os processos e formas de interação entre as 5 áreas, o que naturalmente compreende principalmente a avaliação de que tecnologias e ferramentas que são utilizadas dentro da empresa para troca de informação (p.e. SAP, Excel, MES, CMMS, etc).

A aplicação deste modelo é feita através de um questionário: o “*Digital Readiness Questionnaire*”, desenvolvido tendo por base a escala de maturidade definida na Tabela 2.3, sendo este constituído por 200 questões, distribuídas pelas várias áreas e dimensões, que podem ser respondidas através de respostas *standard* contruídas também com base nesses mesmo níveis de maturidade. As respostas são recolhidas através de entrevistas, onde o avaliador possui uma cópia do questionário c/ as repostas standards e o entrevistado sem (apenas com as perguntas). Ou seja, o avaliador é que efetua a ligação da resposta descritiva

dada pelo entrevistado à resposta normativa, correspondente a um nível de maturidade, ficando cada processo com um nível de maturidade atribuído (De Carolis et al., 2017b).

Considerando a Figura 2.2., após a entrevista, estamos em condições de afirmar que este modelo genericamente daria assim por terminado o passo 2 da “Avaliação do nível de *readiness* ou maturidade em relação à Indústria 4.0” e prosseguiria assim para o passo 3: “Levantamento de oportunidades (benchmarking) e identificação de barreiras/desafios”. No caso específico deste modelo, este passo corresponde à identificação das forças e fraquezas para cada macroprocesso e dimensão, considerando o seguinte critério de avaliação: as avaliações registadas como iguais ou a baixo de ML2 correspondem às fraquezas, as maiores ou iguais a ML4 às forças e as iguais a ML3 ficariam ao critério da empresa. Em (De Carolis et al., 2017b) os autores sugerem apenas a procura e identificação de oportunidades relativamente às fraquezas.

Por fim, comparativamente aos passos 4 e 5 da Figura 2.2: “Definição da estratégia/objetivo e projeção do *target state* – TO-BE” e “Desenvolvimento de um plano de ação (*Roadmap*) para a implementação da Indústria 4.0”, temos apenas a sugestão por parte dos autores de efetuar a priorização através de um *ranking* por benefícios discutido em reunião com todos os intervenientes nas avaliações.

Face a esta análise mais aprofundada, consegue-se perceber que o DREAMY se destacou pela sua simplicidade e flexibilidade, por ter sido construído especificamente para a indústria transformadora, por possuir as áreas de avaliação mais adequadas à realidade na TCAP, em particular as áreas da gestão da qualidade e da manutenção, que muito poucas vezes são consideradas nos modelos existentes e que, neste caso de estudo, são de elevada importância para a estratégia e vantagem competitiva da empresa. E, ainda, por possuir algumas guias para o após a avaliação de *readiness*.

3. METODOLOGIA

3.1. Estruturação da metodologia

Este capítulo, surge da necessidade de estruturar uma metodologia específica adequada ao caso de estudo, com base na literatura estudada. Como referido, grande parte do enquadramento teórico foi desenvolvido em paralelo com a exploração do caso de estudo, ou seja, já em contexto empresarial. Como tal, ao longo do seu desenvolvimento e, em particular, do desenvolvimento da revisão estruturada da literatura de modelos de *readiness* e maturidade no contexto da Indústria 4.0, denotou-se uma disparidade de abordagens que cada modelo sugeria ou, por vezes, mesmo falta de informação. Principalmente, muitos careciam de indicações relativamente à preparação necessária antes e depois da aplicação de cada modelo a um caso de estudo real.

Assim, serve este capítulo para apresentar a metodologia proposta com base no contexto industrial em que se enquadra esta dissertação, desde o início da exploração do caso de estudo, às adaptações realizadas ao modelo de avaliação escolhido (o DREAMY), ao tratamento das conclusões retiradas da sua aplicação e até à respetiva projeção do *TO-BE* e propostas de melhoria (Meta 4 definida no capítulo 1.2).

3.1.1. Adaptação de uma abordagem ao caso de estudo

Como referido em 2.1, no contexto da Indústria 4.0, com a digitalização de processos, não se pretende necessariamente a completa automação sem intervenção humana, o objetivo é sim que se alcance uma coordenação compreensiva entre máquinas, humanos, processos e ICTs. No entanto, esta digitalização está a tornar os processos de uma organização e entre organizações cada vez mais complexos (Schumacher et. al. 2016). Portanto, de forma a conseguir uma clara compreensão das vantagens/desvantagens que as diferentes alternativas digitais podem ter aquando da sua implementação, em vez de olhar aos processos numa só sequência de fluxo, é necessário organizá-los numa rede e/ou definir a hierarquia dos seus subprocessos (Fleischmann et al., 2020), para que se possam verdadeiramente compreender as implicações que a implementação destas tecnologias possam ter na rede como um todo,

bem como, perceber a melhor forma de adaptar a aplicação de um modelo de avaliação de maturidade ou *readiness* ao contexto da organização. Complementarmente, Dener et al., (2017), ainda sugere que para responder às dificuldades que as empresas estão a sentir em capitalizar das novas tecnologias, a modelação e mapeamento dos processos deve efetivamente fazer parte do primeiro passo para compreender, selecionar e priorizar que tecnologias digitais deverão as organizações incluir para conseguirem as desejadas melhorias de produtividade nos seus processos.

Face a toda a informação exposta, procurou-se adaptar a abordagem definida na Figura 2.2 com base na lógica pensada na Figura 1.1. e no contexto empresarial vivido, para a construção da metodologia proposta a ser seguida no caso de estudo (Figura 3.1).

A interpretação da Figura 3.1 pode ser feita considerando os passos cumpridos de 1.1 até 4.2 que serão desenvolvidos no capítulo 4 e se encontra calendarizados no capítulo 3.2. Já relativamente ao passo 2.2 este encontra-se desenvolvido no subcapítulo seguinte uma vez que influência diretamente os passos seguintes.

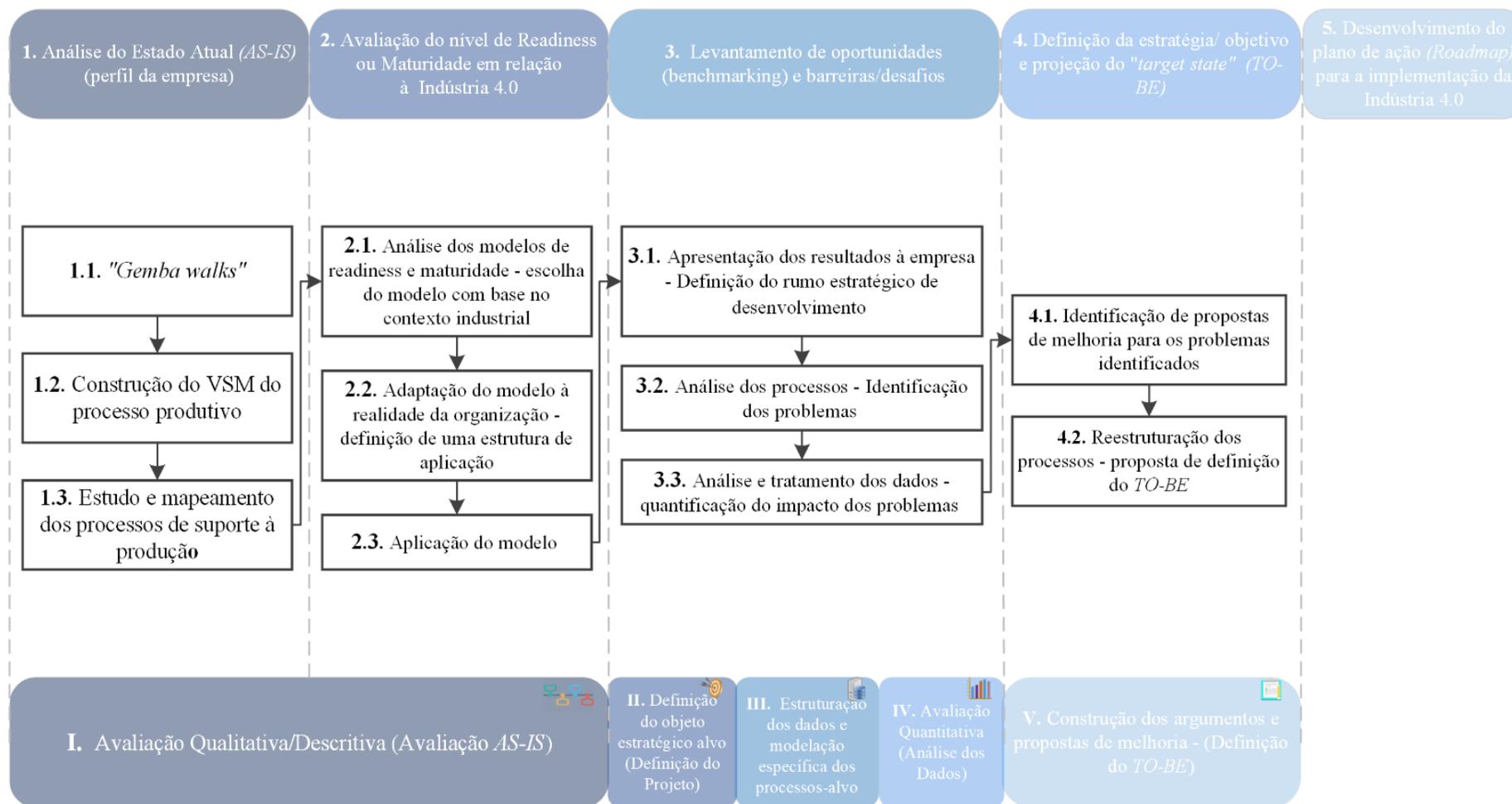


Figura 3.1 Metodologia para o desenvolvimento do caso de estudo

3.1.2. Adaptação do DREAMY (Digital REadiness Assessment MaturitY model)

A adaptação do DREAMY (passo 2.2 na metodologia da Figura 3.1) pode ser dividida em duas partes: na encorajada pelos autores através da remoção ou adição de macro processos/áreas a avaliar conforme o contexto industrial e a estratégia da empresa, e na necessária face às restrições/limitações encontradas devido aos *gaps* de informação para a sua aplicação.

Em resposta à primeira adaptação necessária à *framework* do DREAMY (Figura 2.4). Foram realizadas as seguintes adaptações (Figura 3.2), aprovadas em reunião com os profissionais da TCAP que acompanharam o trabalho desenvolvido:

- a) Eliminação da área de “A1. Design e Engenharia” do DREAMY, por ser uma área relativamente recente à empresa e ainda em fase de construção e desenvolvimento dos seus processos (área designada de “Novos projetos” na TCAP);
- b) Junção de A2.1 e A.2.2 do DREAMY num único processo “A1.1 Planeamento da produção”, por representarem dois processos executados da mesma forma e pela mesma competência dentro da empresa;
- c) Adição do processo “A.1.4 Gestão da melhoria continua” na “A1. Gestão da Produção”, devido à elevada importância estratégica e à grande ênfase atribuída pela TCAP;
- d) Integração de um processo adicional de “A2.3 Monitorização e Controlo da qualidade no pós-produção”, por representar a vantagem competitiva pela qual a Toyota se rege. Como em termos de qualidade a TCAP responde a todos os requisitos exigidos pela Toyota, considerou-se adequado. Para além disso, ainda se adaptou o processo A2.1 pelas mesmas exigências de qualidade e standardização, não só exigido relativamente a produtos, mas sim também aplicável a equipamentos e procedimentos (p.e. novas máquinas na soldadura por pontos e exigência da programação das máquinas relativamente a espessuras *standard* exigidas pela Toyota);
- e) Divisão da Gestão da Manutenção em Preventiva e Corretiva dado que não existe uma uniformização dos processos no departamento, o que torna oportuno a classificação dos níveis de maturidade de forma independente. Esta distinção

não teria sido possível se não se tivesse cumprido o passo 1.3 da Figura 3.1. Adicionalmente, esta separação resultou também na supressão de A.4.1 do DREAMY (Figura 2.4): “Engenharia de manutenção” na manutenção preventiva (por ser algo *standard*) e na acoplação A4.1 e 4.2. no DREAMY (Figura 2.4): “Planeamento da Manutenção e “Engenharia da Manutenção”, na corretiva por se considerar um processo único/simultâneo;

- f) Ao nível da logística por ser notória, embora rudimentar, a existência de alguns processos de controlo, acrescentou-se o macroprocesso “A5.4. Monitorização e controlo logístico”.

A descrição referente aos 16 macroprocessos definidos na *framework* adaptada (Figura 3.2), encontra-se em apêndice (Apêndice F).

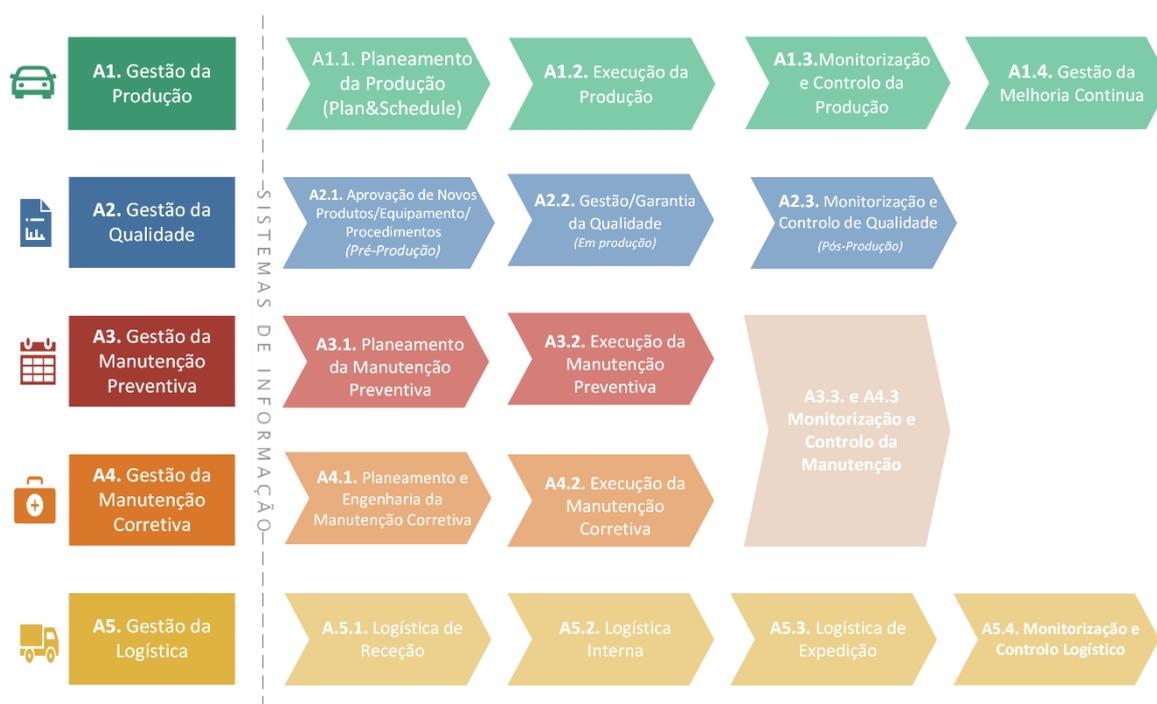


Figura 3.2. Framework para avaliação da realidade na TCAP (Adaptado: De Carolis et al. 2017a)

A segunda parte da adaptação considerou-se necessária para responder às perguntas levantadas pelas seguintes limitações ao nível de pôr em prática o DREAMY na TCAP:

- i. A inacessibilidade ao *Digital Readiness Questionnaire*, limita o ponto de partida para a obtenção de resultados através do modelo, ou seja, limita a forma como são avaliadas as áreas e respetivos macroprocessos em conformidade com as

dimensões propostas. *Questão 1:* Como fazer a avaliação dos macroprocessos identificados nas 4 dimensões?

- ii. Não é fornecida informação detalhada relativamente a métodos de identificação de oportunidades. *Questão 2:* Como serão identificadas estas oportunidades?

Para responder à *Questão 1* procurou-se adaptar o descritor dos níveis de maturidade (Tabela 2.3), fragmentando esses níveis para a caracterização das dimensões referidas em 2.3.3., e construção de uma matriz de avaliação apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Matriz de avaliação (Adaptada da Tabela 2.3)

Dimensão/ Nível de Maturidade	ML1 - Iniciante	ML2 - Gerido	ML3 - Definido	ML4 - Integrado/ (Interoperabilidade)	ML5 - Digitalmente Orientado
Processos (como são/ acontecem/des envolvem/etc)	-Gestão do processo é reativa; -Infraestruturas não permitem repetibilidade/usabilidade/extensibilidade das soluções já utilizadas;	-Parcialmente planeado/implementado;	-Boas práticas de planeamento e gestão;	-Totalmente planeado e implementado;	-Sólida estrutura tecnológica e infraestrutura: grande potencial de crescimento;
Tecnologia (que tecnologias suportam estes processos)	-Falta de organização e/ou tecnologia;	-Gestão fraca por falta de organização ou tecnologias facilitadoras	-Gestão limitada por responsabilidades organizacionais ou tecnologias facilitadoras;	-Utilização de standards comuns a toda a empresa (melhores da indústria) em termos organizacionais e tecnológicos;	
Organização (como são as estruturas organizacionais do processo)				-Colaboração entre funções empresariais e tomada de decisão;	
Monitorização e Controlo (como é feito o controlo e recebido o feedback de execução)	-Pouco/nenhum controlo;	-Decisões por objetivos específicos de projetos únicos de integração e/ou com base na experiência do decisor;	-Alguns gaps de integração e interoperabilidade na aplicação e troca de informação;	-Construído com base na integração e interoperabilidade de algumas aplicações e troca de informação;	-Alto nível de integração e interoperabilidade; -Rápida e poderosa troca de informação;

De forma a atribuir um nível de maturidade a cada macroprocesso, e procurando seguir aproximadamente o método utilizado nos casos de estudo de aplicação do DREAMY por De Carolis et al., (2017b), descrito no capítulo 2.3.3, foram realizadas entrevistas semiestruturadas. Estas são referidas como semiestruturadas, pelo facto de não se ter optado pela construção de um questionário adaptado estruturado, uma vez que não se possuíam bases suficientes para tal (apenas um exemplo). No entanto, procurou-se sim seguir uma estrutura previamente pensada de maneira a guiar o entrevistado pela matriz de avaliação, sem que este tivesse conhecimento dos níveis da mesma, de forma a obter uma descrição

detalhada do estado atual dos processos e dimensões e, principalmente, de manter a coerência entre as entrevistas.

Por outro lado, contrariamente ao sugerido pelos autores, no final de cada entrevista, a classificação de cada dimensão foi revista com cada um dos entrevistados, com o intuito de obter um parecer positivo relativamente ao nível de maturidade obtido para cada macroprocesso, nomeadamente, relativamente aos casos em que vários níveis de maturidade eram considerados como “adequados” em determinadas dimensões. Para além disso, e dada a subjetividade da descrição dos níveis de maturidade, considerou-se possível a atribuição de níveis intermédios, como por exemplo ML1/ML2 ou ML2/ML3.

Como referido a estrutura adaptada seguida nas entrevistas foi baseada num guião previamente construído, podendo este ser resumido na seguinte sequência:

1. Breve apresentação do projeto e o intuito da entrevista;
2. Confirmação e adaptação da descrição do/os processo/os a avaliar, estabelecida no Apêndice F, conforme a opinião do entrevistado de forma a ficar clara a abrangência operacional e organizacional dos processos;
3. Esclarecimento das definições de integração e interoperabilidade (definidas em 2.3.3.), se o entrevistado não estiver a par do seu significado;
4. Início do diálogo com base no nível mais alto (ML5) de uma dimensão aleatória para procurar perceber se o fragmento da descrição se adequaria ao processo em questão, seguido de um muito baixo (ML1 ou ML2) de outra dimensão. O objetivo é fluir a conversa com outras perguntas conforme o diálogo, para obter uma extensa descrição dos processos e opiniões, afunilando, se possível, para cada dimensão, conforme o espírito crítico do entrevistador. Por sua vez, o entrevistador, simultaneamente, deverá preencher com “s” em caso de adequado e “n” em caso de não aplicável a Matriz de avaliação (Tabela 3.1) para cada processo;
5. Quando se atingir um nível que o entrevistado considere adequado, procurar confirmar a opinião perguntando relativamente ao nível diretamente abaixo e/ou acima do aceite, na dimensão correspondente;
6. Procurar cruzar dimensões para o entrevistado não se aperceber da escala de maturidade para cada dimensão;

7. Calcular a classificação dos processos com base na média das dimensões (p.e. Processos:ML2=2; Tecnologia & Organização:ML2/ML3=2,5; Monitorização & Controlo: ML3=3; então o nível de maturidade total do processo= $(2+2,5+3)/3=2,5=ML2/ML3$).
8. Mostrar o resultado obtido ao entrevistado e procurar obter acordo na avaliação final do processo. Para processos com classificações correspondentes a níveis intermédios (p.e. 2,33; 2,5; 2,66; etc), apenas se pode subir para nível X se se cumprir o nível X em todas as dimensões e/ou se níveis superiores (em X+1) predominarem. No entanto, o critério de manter um nível intermédio (mesmo que predomine o nível mais baixo ou mais acima) está ao critério do entrevistado, bem como, a atribuição do nível mais baixo em caso de dúvida.

Com a adoção desta metodologia, pretendeu-se que não fosse possível aos entrevistados percecionarem o nível de maturidade que estavam a atribuir a cada dimensão e/ou processo durante a entrevista, bem como, que dimensão estariam a avaliar, de modo que isso não influenciasse as suas respostas.

3.2. Plano de Trabalho (Calendarização)

No capítulo 3.2.1 foi definida uma metodologia de desenvolvimento do caso de estudo na prática. Com base nos passos definidos na Figura 3.1. pode ser considerado que foi seguido o seguinte plano de trabalho apresentado na Figura 3.3.

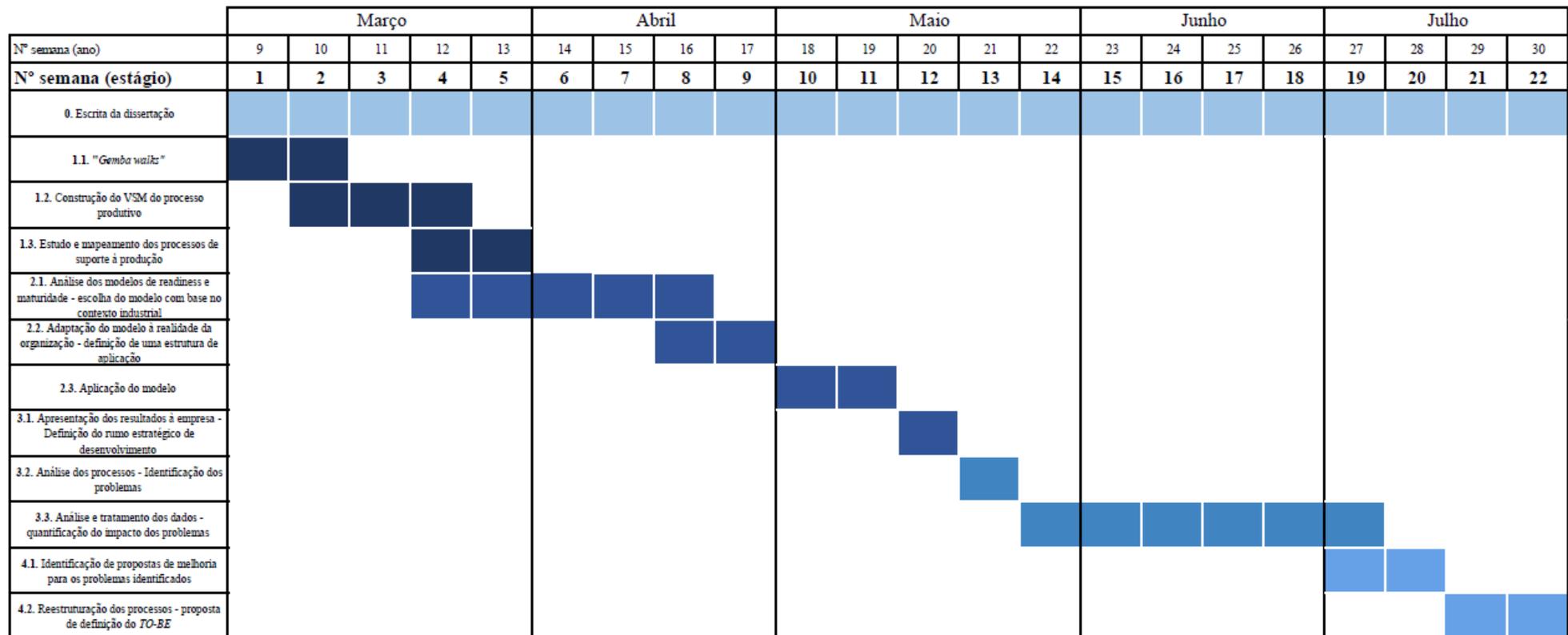


Figura 3.3 Calendarização do estágio curricular desenvolvido no âmbito desta dissertação

4. O CASO DE ESTUDO

4.1. Apresentação da empresa

A Toyota Caetano Portugal – Fábrica de Ovar (TCAP) pertence ao grupo Salvador Caetano que conta com cerca 70 anos de história na indústria automóvel, sendo este distribuidor exclusivo de veículos Toyota em Portugal. A fábrica de Ovar foi a primeira fábrica Toyota inaugurada na Europa tendo produzido ao longo da sua história modelos como Hilux, Hiace e Dyna. Naturalmente, a TCAP rege-se então pelas filosofias Toyota, sendo clara a importância atribuída aos pilares da qualidade, ambiente e segurança.

Embora recentemente envolvida em novos projetos, como por exemplo a linha de chassis elétricos em parceria com a CaetanoBus, a TCAP produz, desde 2015, o modelo Land Cruiser série 70 (LC 70) exclusivamente para o mercado da África do Sul. Este processo toma a grande maioria da área da fábrica, contando com um volume de produção anual que ronda as 2000 unidades que se diferenciam por combinações de 3 tipos de motor, cabine simples ou dupla e 2 cores (beje e branco).

4.2. Definição do estado atual (AS-IS)

Tal como estruturado na metodologia no capítulo 3, o caso de estudo iniciou-se com a “Análise do estado atual AS-IS (perfil da empresa)”. Ou seja, procedeu-se a um estudo detalhado dos principais processos da fábrica (AS-IS). Foi atribuída uma particular atenção ao processo produtivo da linha do LC70, mapeada através de um VSM (*Value Stream Map*) e aos processos de suporte da área da Manutenção, através de BPMN (*Business Process Modeling Notion*), descritos nos subcapítulos seguintes.

4.2.1. A linha do LC 70

A linha do LC70 está dividida em 3 grandes secções: Soldadura (WED), Pintura (PAINT) e Montagem Final (FA). Possuindo também as áreas de Logística de Soldadura, Laboratório da Pintura, Logística da Montagem Final, Inspeção e Manutenção.

De forma a recolher o máximo de informação do processo foram realizadas visitas ao *Gemba*, com os *Team Leaders* da Engenharia de Processo de cada secção, onde se procurou

recolher a informação necessária para o mapeamento do mesmo. Optou-se por um VSM uma vez que, em primeiro lugar, já existia uma base construída na empresa (embora desatualizada), e em segundo, dado que o objetivo principal desta dissertação salienta o foco na produtividade, seria de elevado interesse fazer o estudo e discriminação dos tempos e fluxos de valor acrescentado (TVA) dos de valor não acrescentado (TVNA) que pudessem ser combatidos através de alternativas digitais.

No Apêndice B é possível encontrar a grande maioria das atualizações feitas ao VSM, tendo sido considerado apenas como relevante para esta dissertação a exposição do mapeamento relativo ao *AS-IS* dentro da fábrica, ou seja, desde a receção do CKD até ao *line off* do produto acabado.

A linha do LC70 atualmente funciona a um turno, ou seja, 7h50min/dia (pois são utilizados 10min ao início do turno para a reunião matinal) com um *takt time* de 29min, ou seja, são produzidas 16 unidades/dia. Existe um total de 63 operadores nas 3 grandes secções de linha, 46 nas restantes áreas mais 14 chefias de produção. Sendo que a discriminação das áreas onde se inserem pode ser observada na Figura 4.1. O *Lead Time* obtido pela construção do VSM desde o abastecimento do material à linha do *body* na soldadura até ao *line off* na inspeção (Figura 4.2), ou seja, sem considerar o tempo de abertura das peças do *Body* e abastecimento à linha é de: 4,02 dias, com a grande maioria deste tempo (54%) a ser passado na secção da pintura (2,2 dias) (Figura 4.3).

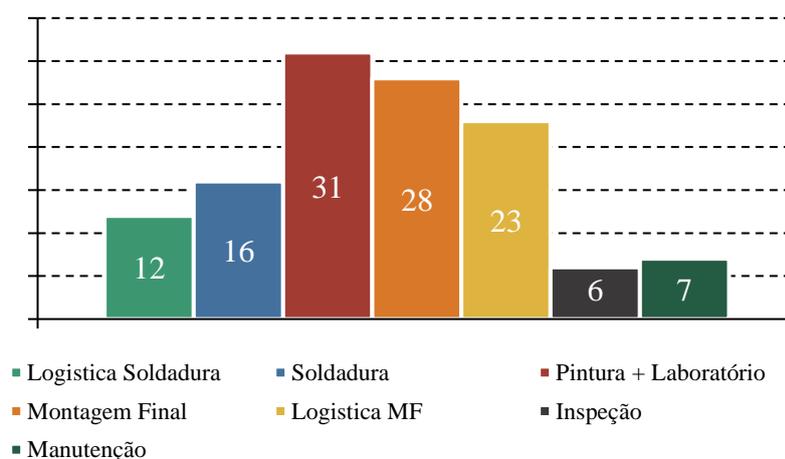


Figura 4.1 Distribuição de “*Man Power*” por secção

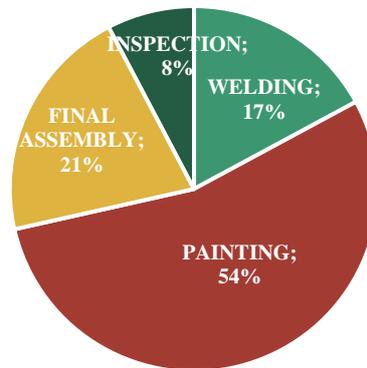


Figura 4.3 Proporção de Lead Time por secção

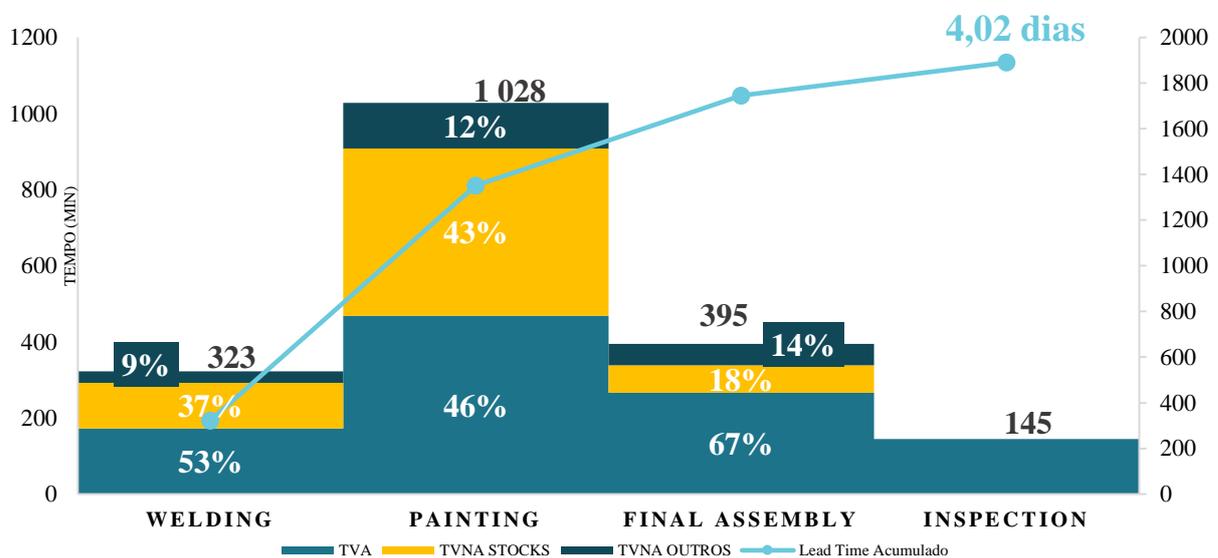


Figura 4.2 Lead Times por secção discriminado percentagem de TVA e TVNA

4.2.2. Manutenção

A manutenção na TCAP é uma área de suporte ao processo produtivo que, após debate, se concluiu, que em termos de gestão pode ser dividida em três processos paralelos: a Manutenção Corretiva, a Manutenção Preventiva e a Monitorização e Controlo da Manutenção.

O processo da Manutenção Corretiva é despoletado por uma avaria, cujo alarme, na generalidade, é dado por um operador. Este desloca-se ao equipamento e faz o diagnóstico (se possuir capacidade, caso contrário comunica às chefias que indicarão alguém para fazer o diagnóstico). Distinguem-se dois tipos de avarias, as que a TCAP possui capacidade

interna de resolução e as que será necessário de recorrer ou consultar fornecedores externos. Este processo encontra-se modelado em apêndice (Apêndice C) e realça-se o facto de tanto o diagnóstico, como o preenchimento do relatório em papel, como as deslocações ao equipamento e as deslocações ao armazém geral/ Manutenção, serem feitas manualmente. Logo que o relatório de avarias seja entregue aos TLs, passa pela hierarquia definida até ser arquivado numa pasta física própria.

Em paralelo, existe o processo de Manutenção Preventiva, a ser desempenhado pelos TMs da Manutenção diariamente. O plano das manutenções preventivas a realizar é emitido automaticamente todas as segundas-feiras pelo SAP, o ERM utilizado na TCAP, no entanto, as ordens deste plano são impressas, distribuídas por secções, adquiridas e preenchidas pelos TM manualmente. A par com as ordens vêm etiquetas autocolantes que deverão ser colocadas nos respetivos equipamentos após a realização das operações preventivas. Uma vez terminadas todas as manutenções preventivas (geralmente no final da semana) os TM da manutenção de cada secção deslocam-se novamente à manutenção para entregar as ordens preventivas e estas serem inseridas no SAP como realizadas. Este processo encontra-se em apêndice (Apêndice D).

Por fim, temos o processo da Monitorização e Controlo da Manutenção, que embora em apêndice (Apêndice E) esteja modelado para uma área específica da pintura e inclua algumas monitorizações do Laboratório da pintura, este, genericamente, pode ser dividido em duas partes: a monitorização e controlo realizada diariamente pelos TM da manutenção nas suas secções, referentes a equipamentos que assim requerem registos de alguns parâmetros para garantir conformidade (p.e. as verificações diárias de arranque do robot da soldadura) e na monitorização e controlo realizados ao nível do MTBF e do MTTR pelo GL da Manutenção e pelo TM responsável pelo SAP.

Como a primeira parte é generalizada a vários processos da fábrica, só foi modelada posteriormente com o rumo tomado pelo caso de estudo. Relativamente à segunda parte, esta passa pelo TM responsável pelo SAP registar num *Excel* a ocorrência de uma avaria atribuída a cada secção (sem detalhe) quando um TM entrega um relatório de avaria, com o intuito de depois, nas reuniões mensais, serem revistos o número de ocorrências e planeadas contramedidas com o GL, no caso dos KPIs não estarem dentro do requerido.

Estando os processo e perfil da TCAP descritos e mapeados, estamos em condições de prosseguir para a definição do AS-IS em relação à Indústria 4.0.

4.3. Avaliação do nível de Maturidade do AS-IS no contexto da Indústria 4.0

O presente subcapítulo corresponde ao passo 2.3 definido na Figura 3.1, referente à aplicação do modelo adaptado para a avaliação da *readiness* da TCAP para a implementação da indústria 4.0. Com base na revisão estruturada da literatura (descrita em 2.3.2), o modelo selecionado foi o DREAMY e, conseqüentemente, esta avaliação de *readiness* será classificada através de níveis de maturidade por processos, como descrito em 2.3.3.

4.3.1. Aplicação do modelo adaptado do DREAMY (Digital REadiness Assessment MaturitY Model)

De forma a atribuir um nível de maturidade a cada macroprocesso procurou-se seguir a metodologia adaptada descrita em 3.1.2. Adicionalmente também com o mesmo intuito, de adaptação do método utilizado nos casos de estudo de aplicação do DREAMY em De Carolis et al., (2017b), foram realizadas entrevistas majoritariamente às chefias de cada área, tendo sido entrevistado: o TM do Planeamento, o TL da Engenharia de processo, o *Assistant Manager e QA Coordinator* da Qualidade, o GL da Manutenção responsável pelos equipamentos críticos e a GL da Logística (Tabela 4.2).

Tabela 4.1 Macroprocessos avaliados por cada entrevista/entrevistado.

Nº de Entrevista	Entrevistado	Macroprocessos avaliados
1	TM da Manutenção responsável pelos equipamentos críticos	Todos os macroprocessos correspondentes às áreas A3. e A4.
2	TM do Planeamento	A1.1.; A1.3.; A5.3.
3	<i>QA Coordinator</i> da Qualidade	Todos os macroprocessos correspondentes à área A2.
4	TL da Engenharia de processo	A1.2.; A1.4.
5	GL da Logística	A5.1.; A5.2.; A5.4.

Um exemplo de como foram guiadas as entrevistas encontra-se num excerto de uma entrevista em apêndice, bem como a resultante matriz de classificação do macroprocesso obtida (Apêndice H). Os resultados obtidos podem ser observados através do esquema da Figura 4.4 que situa cada macroprocesso da *framework* adaptada (Figura 3.2) na escala dos níveis maturidade adaptados, e serão interpretados no subcapítulo seguinte.

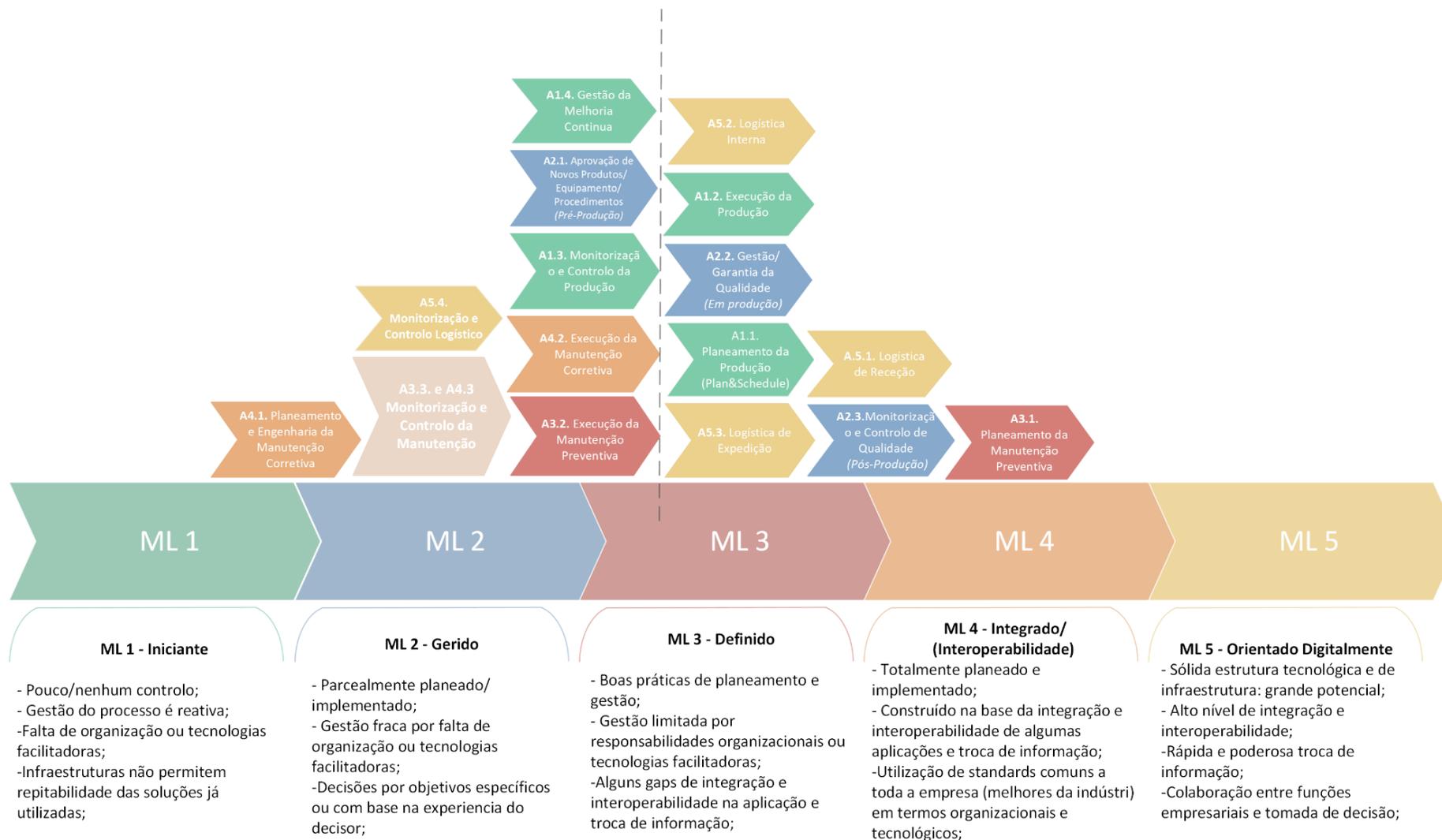


Figura 4.4 Distribuição dos resultados da avaliação de *readiness* da TCAP

4.3.2. Interpretação de resultados da avaliação de *readiness*

Antes de iniciar a interpretação dos resultados há a realçar, que após a análise das entrevistas, se verifica que a adaptação feita ao DREAMY relativamente ao agrupamento da dimensão “Tecnologias” com “Organização” na grande maioria dos níveis de maturidade, representa uma condicionante aos resultados analíticos obtidos. Esta mesma dimensão deveria ter sido abordada em separado, mesmo que implicasse a duplicação da forma como eram descritas na matriz (Tabela 3.1).

A seguinte crítica à adaptação realizada teve por base a análise das gravações das entrevistas, onde é notória a incerteza na caracterização dos macroprocessos com as descrições correspondentes à dimensão “Tecnologia e Organização”, pois a grande maioria dos entrevistados ou concorda com vários níveis como corretos ou demonstra insegurança em concordar com qualquer um dos níveis. Por exemplo, considerar a descrição de ML4 comparativamente com o ML3 ou ML2, dificilmente era alcançada por considerarem que o processo possuía efetivamente a “utilização de standards comuns a toda a empresa (melhores da indústria) em termos organizacionais”, no entanto, em termos de “e tecnológicos” já não sentiam ser adequado. Como se pode perceber pelo excerto da entrevista nº4 relativamente ao macroprocesso A1.2. Execução da Produção:

Entrevistador

“Consideraria que relativamente à execução da produção se utilizam standards comuns a toda a empresa em termos organizacionais e tecnológicos? Até mesmo considerando estes os melhores da indústria...”

Entrevistado

“É assim, em relação à primeira pergunta: os standards existem, ok? A nível tecnológico não. Aqui pronto... é isso, os standards existem... A nível tecnológico é que não... Como já viu o nosso processo é muito manual e não temos muitas tecnologias que nos permita ter mais ferramentas... acho que até é esse passo que temos de dar... Nós temos filosofias e standards bem definidos, mas que não temos grandes ferramentas para os implementar e controlar. “

Entrevistador

“Pois de facto, tenho vindo a dar conta que para o caso da TCAP esta descrição deveria estar separada, porque standards Toyota em termos organizacionais existem, são visíveis as filosofias, mas tecnológicos é que ficam em falta...”

Entrevistado

“Exatamente, exatamente...”

Este facto, leva-nos a concluir que a dimensão “Tecnologia e Organização” poderá encontrar-se subdimensionada em relação aos parâmetros de avaliação em termos “Organizacionais” e sobredimensionada em termos “Tecnológicos”. Não obstante, os resultados obtidos encontram-se expostos nas Figura 4.5 e 4.6.

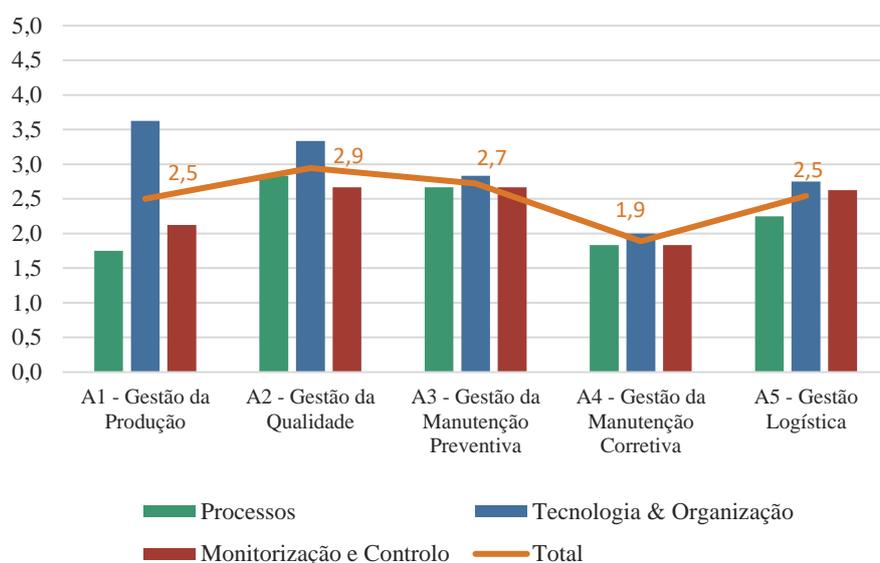


Figura 4.5 Gráfico com médias das avaliações por dimensões e área

Em apêndice pode também ser encontrada uma extensão do gráfico da Figura 4.5 que discrimina a avaliação por cada macroprocesso (Apêndice H). De um modo geral, diante do exposto conseguimos desde logo perceber que a área que requer uma maior atenção é a “A4 – Gestão da Manutenção Corretiva”, seguida da A1 e A5. Para além disso, as dimensões “Processos” e a “Monitorização e Controlo” também requerem a sua atenção, sendo que no gráfico da Figura 4.6 conseguimos distinguir uma maior tendência na “Monitorização e Controlo” para níveis de maturidade mais baixos enquanto em “Processos” se nota ligeiramente uma maior dispersão de resultados.

Complementarmente, com base nos resultados expostos na Figura 4.4 e no Apêndice H, e considerando o critério dos autores do modelo original do DREAMY, exposto em 2.3.3, (em que referia que os níveis abaixo de ML3 seriam consideradas as fraquezas, acima as forças e em ML3 ficaria ao critério da empresa), podemos sem margem de dúvida salientar a preponderância da área da manutenção e dos macroprocessos de monitorização e controlo das restantes áreas, como fraquezas.

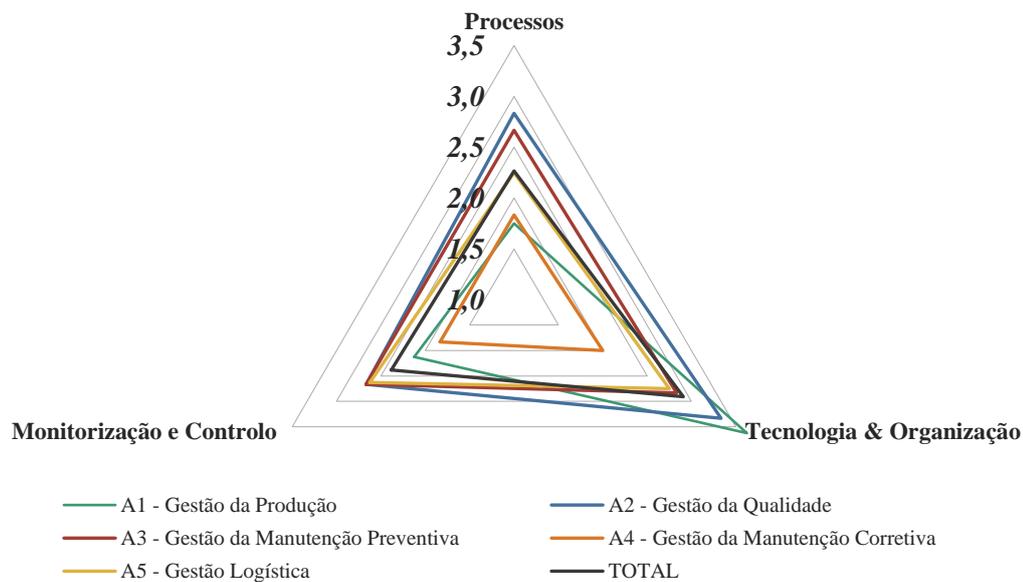


Figura 4.6 Gráfico comparativo de nível de maturidade das dimensões

Como se pode perceber na metodologia adotada para este caso de estudo (Figura 3.1), o passo seguinte foi adaptado do artigo de aplicação do DREAMY (De Carolis et al., 2017b). Isto é, em vez de se estudar todas as oportunidades e respetivas barreiras que pudessem surgir da melhoria dos níveis de maturidade de todos os macroprocessos considerados como fraquezas, como sugerido, procurou-se antes, de acordo com o sugerido pela empresa, identificar uma estratégia/objetivo comum que combinasse oportunidades de melhoria transversais tanto à área da Manutenção como à Monitorização e Controlo. Para tal, como a única informação em (De Carolis et al., 2017b) refere apenas que se discutiam as oportunidades de melhoria com membros das empresas nos casos de estudo, optou-se por uma sessão de *brainstorming* com os profissionais da empresa que estavam a acompanhar o trabalho desenvolvido. Dessa sessão, estabeleceu-se então que o rumo a explorar seria: de que forma podem novas tecnologias no âmbito na Indústria 4.0 aumentar a produtividade do PT-ED? As razões de escolha deste rumo encontram-se descritos nos capítulos seguintes.

4.4. Análise dos processos a trabalhar

Estando o objeto estratégico alvo definido (II), o PT-ED, era necessário definir os processos alvo a trabalhar. Para se compreender quais esses processos, basta compreender o raciocínio que levou à escolha deste foco de estudo.

O que se verificou em discussão com os profissionais da empresa, é que o processo de pintura por eletrodeposição catódica (ED), representa uma possível vantagem competitiva para a TCAP, no sentido que será descrito no subcapítulo seguinte. No entanto, é perceptivelmente a zona com maior número de avarias da fábrica, o que contribui para a existência da maior proporção de stock de segurança dentro da pintura (5 unidades após estufa do ED), algo que pode ser observado no VSM (Apêndice B). Em última instância, isto reflete-se no Lead Time da secção da pintura representar 54% do Lead Time total da fábrica (Figura 4.3), com praticamente metade (43%), em termos teóricos, deste tempo a representar tempo de VNA em stock (Figura 4.2). Posto isto, dado o grande número de avarias, considerou-se oportuna a análise tanto dos processos de Gestão da Manutenção, como de afunilar esta área específica ao PT-ED com o intuito de apurar oportunidades de melhoria no âmbito da Monitorização e Controlo.

4.4.1. Pré tratamento e pintura por Eletrodeposição Catódica (PT-ED)

O ED, é a única área da fábrica em que é impreterível o funcionamento de certos equipamentos 24horas / dia. Isto é, este tipo de pintura funciona através do mergulho (ou imersão) totalmente automatizado e baseado na deslocação de partículas carregadas dentro de um campo elétrico (o banho) em direção ao pólo negativo (Cátado – neste caso o “carro”), um esquema ilustrativo pode ser consultado em anexo (Figura 1, Anexo B). Este mergulho é feito num banho à base de água desmineralizada, pigmento, resina , diluente e aditivos, e, portanto, tratando-se de uma emulsão com pigmento e resina, necessita de estar em permanente agitação para não ocorrer decantação, daí o circuito correspondente à agitação ter de estar em funcionamento 24 horas, mesmo sendo o tempo útil de produção atual de 7h50min.

Adicionalmente, antes do mergulho no banho do ED, de forma a garantir uma aderência perfeita da tinta sobre o metal, é necessário que as peças sejam submetidas a um processo de fosfatação ao qual nos referimos como Pré Tratamento da chapa (PT). Por sua vez, após a pintura no ED, deve ainda passar por um forno, para se garantir a obtenção das características desejadas da pintura, algo conseguido pela TCAP através da Estufa do ED. Após análise da documentação interna existente, o que se verifica é que por questões de garantia da qualidade é impossível a existência de um stock de segurança intermédio entre a

zona do PT e do ED uma vez que segundo as recomendações da PPG (fabricante/fornecedora deste sistema de pintura ED) a camada fosfatada deve ser totalmente uniforme, sem riscos ou manchas de auto-secagem, portanto, em condições ideais, o tempo de espera entre o PT e o ED resume-se apenas à lavagem pré ED, para não permitir a auto-secagem.

Face ao exposto, entende-se que o processo de passagem das unidades pelo PT-ED deva ser fluido (Figura 4.7), e portanto, em termos de produtividade, no que toca aos atrasos de produção e desperdício de consumíveis (gás, eletricidade e materiais de consumo) é necessário olhar à zona do PT-ED como um todo, pois a paragem de uma, em condições normais, irá sempre prejudicar a outra. Ou seja, numa linha de produção que funciona por *takt-time*, inevitavelmente são criados stocks de segurança, para que em caso de paragem desta zona específica da fábrica, a restante produção não pare e se cumpra a produção.



Figura 4.7 Saída do PT (A), Posto de lavagem Pré- ED (B), Mergulho no banho do ED (C), Saída do banho do ED (D), Chuveiros pós ED (E).

Complementarmente, de forma a garantir que todos os parâmetros recomendados pelo fabricante estão conforme o requerido para corresponder à qualidade exigida pela Toyota, existem cerca de 100 verificações e registos realizados manualmente e diariamente pelos operadores da Manutenção e do Laboratório da pintura (Anexo C). A grande maioria destas verificações fazem parte das primeiras atividades definidas para os operadores realizarem ao início do dia. Sem estes parâmetros estarem dentro dos limites de especificação, a produção não arranca, podendo ser necessário fazer ajustes, como por exemplo, ao teor de sólidos, à percentagem de solventes ou à temperatura do banho do ED. Este processo de controlo diário foi então modelado e encontra-se em apêndice, inserindo-se no processo de Monitorização e Controlo da Manutenção (Apêndice E).

4.4.2. Análise dos processos de Manutenção

As operações de manutenção, na TCAP, pretendem contribuir para uma maior disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos, de forma a obter reduções dos custos de avaria com menores tempos de paragem. Por sua vez, tendo em conta a definição de produtividade como “o rácio entre os outputs e os inputs” (Tanger, 2005), qualquer melhoria no âmbito da produtividade da área da manutenção terá então em vista direta ou indiretamente o aumento da produtividade, já que todo o processo produtivo está dependente da qualidade destas operações. Neste subcapítulo em particular, pretende-se analisar de que forma a digitalização dos processos na área da Manutenção na TCAP pode aumentar a produtividade, tanto da zona do PT-ED especificamente, como da Gestão da Manutenção.

Com o intuito de identificar medidas no âmbito da digitalização e quantificar o impacto que estas poderiam ter quando implementadas, recorreu-se a uma adaptação do método de *troubleshooting* utilizado frequentemente na resolução de problemas de manutenção na TCAP que recorre ao levantamento do problema, das evidências que levaram à deteção do problema, das possíveis contramedidas para resolução do mesmo e ao procedimento de verificação dessas contramedidas. A análise realizada começou então por identificar problemas que contribuíram para os macroprocessos desta área terem sido classificados com baixos níveis de maturidade na avaliação de *readiness*. Atualmente, estes problemas representam barreiras à digitalização, e, portanto, procurou-se desconstruí-los em evidências (dificuldades, tempo perdido, consequências, inconvenientes, etc), de forma a facilitar a identificação dos desperdícios em que se refletem no decorrer dos processos de gestão da manutenção implementados. Uma vez identificados esses desperdícios, mais rapidamente foi possível quantificar o impacto que medidas no âmbito da digitalização poderão representar através da redução e/ou eliminação dos mesmos e assim priorizar os principais problemas a serem resolvidos. De salientar, que a grande maioria dos desperdícios encontrados estão associados a deslocações ou tarefas manuais que poderiam ser apaziguadas aquando da implementação de tecnologias facilitadoras, como de seguida se poderá verificar.

Um exemplo de como se chegou à construção do esquema da Figura 4.8 , pode ser o problema “1.Etiquetas e ordens de Manutenção Preventiva semanais em papel” (P1), este foi identificado através da entrevista por ter sido reconhecido como uma barreira à

integração, isto é, as chefias e especialmente as restantes áreas/departamentos, dificilmente têm visibilidade sobre o progresso das ações de manutenção preventivas realizadas ao longo da semana, a não ser que o TM se desloque ao gabinete e entregue as folhas (ordens assinadas) gradualmente, o que implica mais deslocações, e portanto tipicamente são entregues todas as ordens preventivas no final da semana. Após a explicação deste problema conseguimos identificar duas evidências relativamente a deslocações (E2 e E4), complementarmente através de entrevistas não estruturadas aos TM (E3) e da análise do BPMN do processo de manutenção preventiva (Apêndice C) (E1), chegou-se às restantes evidências. Com base nas mesmas, mais facilmente se apuraram os desperdícios a quantificar de tempos de impressão, deslocações, manuseamento, distribuição das folhas e arquivo. Repetindo este processo aos restantes problemas identificados.

Os desperdícios, dentro da filosofia Toyota e neste contexto, são denominados de MUDA, estando na sua grande maioria quantificados em tempo desnecessário para a realização de operações ou operações desnecessárias/substituíveis/elimináveis, portanto foilhes atribuída as designações: TOP- Tempo de Operação Preventiva; TOC - Tempo de Operação Corretiva; TOMC – Tempo de Operação de Monitorização e Controlo e TDesl – Tempo de Deslocação. Os MUDA identificados podem ser observados nos Apêndices C, D e E a vermelho, na respetiva zona do processo onde correspondem e encontram-se discriminados nas Tabelas 4.2., 4.3 e 4.4 onde foi também associado um tempo e custo médio anual a cada um. Estes MUDA, foram estimados através de alguns ensaios cronometrados e de entrevistas não estruturadas aos TM que tipicamente efetuam as tarefas. Recorreu-se a este método de quantificação, uma vez que não existe um registo real de tempos por operações de manutenção, discriminados ao nível pretendido. Nesse sentido, são apenas registados tempos de operação preventivas *standard* a realizar nos equipamentos pretendidos. O custo/ano registado nas tabelas representa o custo médio associado aos MUDA calculado exclusivamente com base na multiplicação da remuneração/hora média do departamento pelo tempo médio estimado para a operação.

Tabela 4.2 MUDA associados ao processo de Manutenção Preventiva

MUDA	Descrição	Tempo médio (min/sem.)	Custo/ano (€/ano)
TOP1	Iniciar SAP, imprimir e organizar por secção as folhas e etiquetas de Manutenção Preventiva	22,5	110,18 €
TDesl1	Deslocação das folhas até TL	0,25	1,22 €

TOP2	Distribuir as folhas p/ secção (manualmente)	2	9,79 €
TDesl2	Deslocação TM - secção - posto	11,5	56,31 €
TDesl3	Deslocação TM - secção - posto	11,5	56,31 €
TOP3	Separar folhas por tipos de equipamentos/subsecções, cortar etiquetas, agrupar...	35	171,39 €
TOP4	Análise da NC e Planeamento Individual	<i>Não mesurável</i>	<i>Não mesurável</i>
TOP5	Análise de Planeamento Geral (em equipa);	<i>Não mesurável</i>	<i>Não mesurável</i>
TOP6	Ida, espera, discussão, requisição, procura, aquisição, confirmação técnica do material e volta do Armazém	20	97,94 €
TOP7	Colocar check e etiqueta+assinatura	42	203,81 €
TDesl4	Deslocações de ir entregar relatórios ao gabinete	11	53,87 €
TOP8	Assinar campos de Responsabilidade (TL);	12,5	61,21 €
TOP9	Inserir no SAP equipamentos verificados	12,5	61,21 €
TOP10	Arquivar folhas físicas	20	97,94 €
TOP 11	Dar baixa no stock, ato de pedido de cotação ao Dep. de Compras ou fornecedor para reposição	<i>Não mesurável</i>	<i>Não mesurável</i>
Total		200	981 €

Ao processo de Manutenção Preventiva acresce-se ainda um custo mínimo de cerca de 50€ anuais em papel e impressões referente a etiquetas e ordens de manutenção preventiva, correspondente a sensivelmente 7600 etiquetas e 1400 ordens impressas anualmente.

Tabela 4.3 MUDA associados ao processo de Manutenção Corretiva

MUDA	Descrição	Tempo médio (min/avria)	Custo/ano (€/ano)
TOC diagnóstico	Perceber o que avariou, avaliar o equipamento, definir o tipo de avaria	25	447 €
TOC1	Tempo de aquisição do material	10	179 €
TOC2	Ir buscar o <i>template</i> do relatório de avaria	7,5	134 €
TOCPR	Tempo de preparação para reparação ("tempo de análise"- documentos de apoio técnico, deslocações, procura e consulta (mesmo antes da reparação))	15,5	277 €
TOC3	Ir entregar à chefia o relatório	16,5	295 €
TOC4	Verificação do preenchimento do relatório pelo TL	7,5	134 €
TOC5	Verificação do relatório numeração e arquivo do relatório	7,5	134 €
Total		90	1 601 €

De notar, que no caso do processo de manutenção corretiva considerou-se não significativo o custo associado à impressão dos relatórios de avaria, e ainda o facto dos

valores da Tabela 4.3 terem sido calculados com base no número total de avarias retirado dos registos no último ano de produção completo na fábrica (2021) que acarretou com um total de 168 relatórios de avaria preenchidos.

Tabela 4.4 MUDA associado ao processo de Monitorização e Controlo na Manutenção especificado às monitorizações diárias realizadas na zona do PT-ED

MUDA	Descrição	Tempo médio (min/sem.)	Custo/ano (€/ano)
TOMC Desl. 1	Deslocação matinal laboratório- quadro de controlo pintura	10	49 €
TOMC Desl. 2	Deslocação matinal manutenção-pintura	20	98 €
TOMC1	Verificações e registos de Temperatura do PT (LAB.)	50	245 €
TOMC2	Verificações e registos de Pressão e Temperatura do ED (LAB.)	35	171 €
TOMC3	Ligar retificador, Verificar, registar e assinar valores de pressão, temperaturas e ligar ventilador (MANUTENÇÃO)	75	367 €
TOMC4	Verificar resto de Temperaturas do PT e recolha de amostras (LAB.);	75	367 €
TOMC Desl. 3	Deslocação ao quadro de controlo e e volta para o laboratório	10	49 €
TOMC5	TL assinar todos os registos diários e semanais (LAB.)	10	49 €
TOMC Desl. 4	Deslocação do TL a PT e ED para fazer verificações semanais (LAB.);	2	10 €
TOMC6	Tempo de verificações semanais do laboratório ao PT-ED	10	49 €
TOMC7	Tempo de registo da avaria no excel;	5	24 €
TOMC8	Tempo de realização da reunião mensal de KPIs;	7,8	38 €
Total		309,8	1 517 €

Após o levantamento dos problemas, das evidências e estimados os MUDA procurou-se associar as variáveis entre os mesmos, com o foco de perceber de que modo a resolução de cada problema afetaria os MUDA. Naturalmente, o que se verificou é que grande parte destes estavam associados a mais que um problema, pois tanto a resolução de um problema pode por vezes afetar mais que um MUDA como um MUDA pode necessitar da resolução de mais que um problema para se considerar eliminado.

Por exemplo, como se pode ver no esquema da Figura 4.8 a substituição das etiquetas e ordens de manutenção preventiva semanais em papel (P1), por uma alternativa digital, como a utilização de *tablets*, leituras e registos de preventivas através de *QR codes* contribuiria para a diminuição ou mesmo supressão de MUDA tanto ao nível da impressão e distribuição das folhas como de deslocações dos TM (TOP1, TOP2, TDesl2 e TDesl4).



Figura 4.8 Esquema Evidências-Problemas-MUDA

Por consequência, outros casos, como por exemplo, o TOMC7, a resolução do problema 6 (P6) associado, através da implementação de, por exemplo, um *template* de registo digital com respostas standard sugestivas, embora contribua para a redução do MUDA resultante do registo das avarias para o excel manualmente e para o aumento da qualidade descritiva

dos KPIs, não o elimina na totalidade (TOMC7). Tanto a incapacidade de controlo dos valores dos equipamentos à distância (P8), como inexistência de informatização *standard* dos dados de manutenção e avarias por equipamento (P7) seriam de necessária resolução para suprimir na totalidade o MUDA associado ao cálculo e registo não automatizado dos KPIs e registos de avarias (TOMC7) (Figura 4.8).

Posto isto, observando a Figura 4.8 tornou-se clara a necessidade de analisar as relações entre os próprios problemas levantados para perceber em quais faria sentido investir na procura de soluções de resolução. Através da Tabela 4.5 é possível verificar que os problemas P4, P5, P6 e P7 revelam alguma redundância no que toca à contribuição para a existência de MUDA, algo que pode ser explicado pelo facto da sua identificação ser resultado das entrevistas realizadas e da análise dos Apêndices C, D e E, que por sua vez se encontram separados em processos. Ou seja, os problemas são transversais a mais que um processo de gestão da manutenção.

Tabela 4.5 Matriz de relação MUDA-Problemas

MUDA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
TOP1	x							
TDesl1	x							
TOP2	x	x						
TDesl2	x							
TDesl3	x							
TOP3	x	x						
TOP4				x	x	x	x	
TOP6				x	x			
TOP7	x							
TDesl4	x							
TOP9	x		x					
TOP10	x							
TOC d			x	x	x		x	x
TOC2					x	x		
TOCPR				x	x		x	
TOC3						x		
TOC4					x	x		
TOC5						x		x
TOMC1								x
TOMC2								x
TOMC3								x
TOCMC Desl3								x
TOCMC Desl4								x
TOMC6								x
TOMC7						x	x	x
TOMC8			x				x	x

Como se pode perceber através da Tabela 4.5 os MUDA com maior número de dependências face aos problemas associados aos processos de gestão da manutenção, cuja resolução individual apenas contribuiria para a supressão parcial dos mesmos, estão relacionados com as análises técnicas das avarias (TOC d, TOP4) e de monitorização e controlo (TOMC 7 e 8). Uma possível justificação para este facto passa pelas suas dependências às especificações técnicas de cada equipamento e/ou avaria. Isto é, trata-se de MUDA cujo tempo médio associado depende altamente do número de avarias, da complexidade das mesmas e das competências dos TM encarregues, uma vez que não existem tecnologias de suporte à análise e decisão.

Nesse sentido, face ao exposto considera-se oportuna a exploração dos problemas P1, P5,P6,P7 e P8 no capítulo 4.6 de propostas de melhoria, realizando previamente uma análise técnica do histórico de avarias relativamente a zona específica e estratégica da fábrica para a qual se escolheu como foco no âmbito da monitorização e controlo da manutenção: o PT-ED.

4.5. Análise e tratamento do histórico de avarias do PT-ED

Como descrito nos capítulos anteriores e como se consegue perceber através do processo modelado para a Manutenção Corretiva na TCAP (Apêndice D), não existe um histórico de avarias detalhado por equipamento, por secção da fábrica ou mesmo por zona, o que dificultou o processo de recolha e tratamento dos dados. Como decidido por parte da empresa face aos resultados do estudo de maturidade, o foco desta análise prendia-se com a zona específica do PT-ED na pintura, portanto, dentro do arquivo de 5 capas (relativas a cada ano entre 2018 e 2022) foram revistos 822 relatórios de avaria em papel e registadas numa base de dados (BD), em Excel, todas as 313 avarias referentes à zona do PT-ED.

Como a transformação da totalidade da informação dos registos em papel para o digital (digitalização ou “*digitization*” dos dados), consumiria demasiado tempo de transcrição procurou-se que esta BD contivesse apenas os seguintes dados relativamente a cada avaria: ano da avaria, local (dentro da zona do processo do PT-ED), tipo de avaria, tempo de paragem do equipamento para diagnóstico ou reparação/normalização (TP), tempo de paragem de produção devido à avaria (TPP), a causa da avaria e a contra medida adotada .

A divisão ao nível do local pretende representar a separação entre o processo de transporte (processo produtivo), o processo de tratamento e pintura dos componentes em si (processo hidráulico), e entre os restantes equipamentos extra tanques de PT e ED (drogas, mesa de rolos, estufa e caldeira). O tipo de avaria representa a evidência identificada aquando da deteção da avaria/anomalia (p.e. corrente presa, carro parado entre postos, escovas esmagadas, sobreaquecimento) e a causa o componente que levou à consequência (p.e. rolamentos, roda de arrasto, chiller, boia).

Ao nível do tratamento dos dados, inicialmente procurou-se analisar este histórico mantendo o foco em quantificar de que forma as avarias registadas influenciam a produtividade do PT-ED. Foram então definidas duas principais variáveis para análise : o TPP (contribuidor para a redução de *outputs* – unidades produzidas) e o custo associado ao acontecimento de cada avaria (que representa maiores *inputs* necessários – mão de obra, matéria-prima, tempo). O custo de avaria foi então equacionado (1) considerando os custos de mão de obra dos TM da manutenção para agir sobre a avaria, o custo de gás (na estufa) ($c_{gás}$) e eletricidade ($c_{Elet.}$) associado ao desperdício do funcionamento da zona do PT-ED

com a produção parada, os custos de mão de obra parada dos operadores da pintura na zona do PT.ED (c_{pint}), os custos de grande paragem (quando uma avaria causa uma paragem da zona superior a 5 takt times (t_{lim}), as seguintes zonas de produção são também forçadas à paragem por se ter esgotado o stock de segurança após a estufa do ED), e ainda, os custos de matérias primas, consumíveis ou componentes a serem substituídos ou utilizados devido a avaria (C_m) e os custos associados à qualidade com retificações necessárias fazer ao produto ou unidades perdidas como consequência de avarias mais graves ($C_{ret.}$ e C_{up}).

$$(1). \text{Custo de avaria} = [TP \times c_{man.} \times n^{op.}] + [TPP \times (c_{gás} + c_{Elet.} + c_{pint})] + [(TPP - t_{lim}) \times (c_{pint} \times (n^{op.med.} \times \frac{TPP - t_{lim}}{takt\ time}))] + C_m + C_{ret.} + C_{up}$$

No decorrer da recolha dos restantes dados necessários à aplicação da fórmula (1), nomeadamente do custo unitário por Kwh, do por Kg de gás e das matérias-primas e componentes gastos nas reparações necessárias, optou-se por desprezar o valor associado às últimas duas parcelas ($C_{ret.}$ e C_{up}). devido à insuficiente informação disponível e dificuldade de obtenção de uma estimativa acertada.

De uma forma geral, como se consegue observar na Figura 4.9 e Tabela 4.6, é de salientar a preponderância das avarias ao nível do transporte (processo produtivo) tanto da zona do PT como do ED, mesmo desprezando a discrepância dos valores de 2019, justificada

pela maior paragem produtiva registada que ocorreu devido a uma avaria provocada pela pinça do ED.

Tabela 4.6 Tempo de paragem de produção causado pela avaria em componentes por zona e ano

(Processo/TPP Ano (hh:mm))	2018	2019	2020	2021	2022	%
ED - Processo Produtivo	16:54	50:31	18:07	16:15	7:36	54%
PT - Processo Produtivo	6:12	7:38	10:03	12:19	1:15	18%
Drogas - Hangar Carga e Descarga	4:00	2:15	5:30	0:47	11:55	12%
PT - Processo Hidráulico - Fluídos circulantes	0:00	0:00	0:00	2:15	16:18	9%
Estufa ED	3:08	0:29	0:25	4:30	0:30	4%
Mesa Rolos	2:05	0:00	0:00	0:00	0:00	1%
Caldeira	0:00	0:00	0:00	0:00	2:00	1%
ED - Processo Hidráulico - Fluídos circulantes	0:00	0:15	0:00	0:00	0:00	0%
TOTAL de TPP zona PT-ED (hh:mm)	32:19	61:08	34:05	36:06	39:34	203:12
TOTAL de TPP zona PT-ED (dias) - (c/ 8h trabalho)	4,13	7,80	4,35	4,61	5,05	26

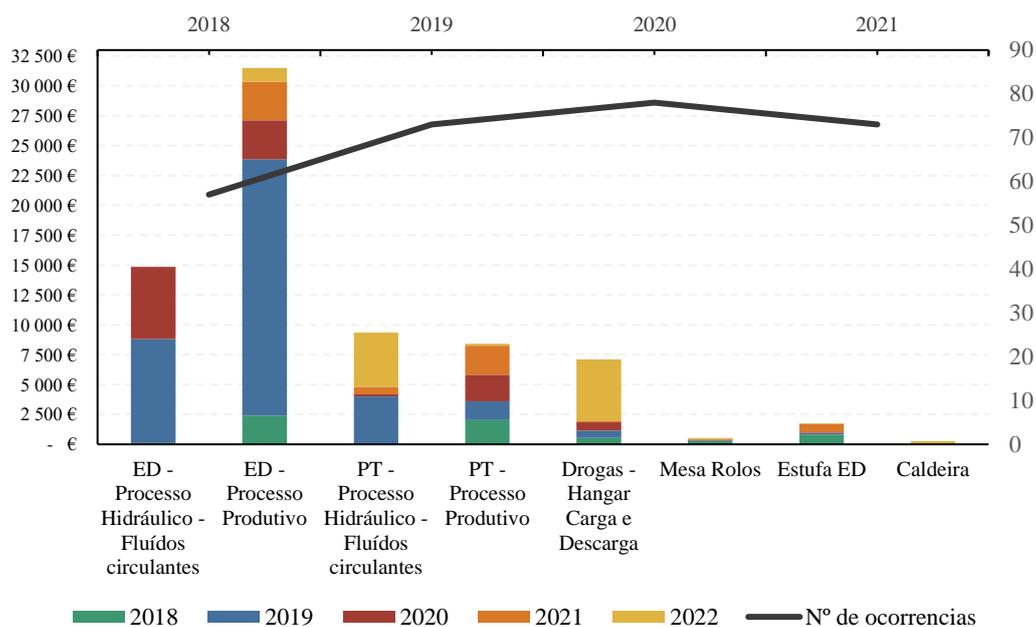


Figura 4.9 - Gráfico do total dos custos de avaria por zona do PT ED e ano

Tendo em conta o gráfico da Figura 4.9 e o facto de, na amostra de 4 anos e meio o comportamento do número de ocorrência de avaria ter sido registado como: 57 ocorrências em 2018, 73 em 2019, 78 em 2020 (mesmo com 3 meses de paragem da produção), 73 em 2021 e 33 até junho de 2022. E, adicionalmente considerando o estudo dos tempos de paragem produtiva (Tabela 4.6) que demonstram uma ligeira tendência crescente (excluindo

a referida grande paragem produtiva de 32 horas causada pela pinça em 2019), podemos inferir que o valor calculado para o total dos custos de avaria do PT-ED, não considerando as retificações e perdas de unidades, tendencialmente se irá manter similar nos próximos anos. Este valor corresponde a cerca de 15.000€/ano (74.000€ na totalidade da amostra), refletindo-se também em 45h/ano de paragem da zona do PT-ED de tempo útil de produção (203h na totalidade da amostra).

De notar, que de uma perspetiva estratégica de colocar toda a zona da pintura PT-ED em funcionamento 24h/dia para colmatar a reduzida produtividade do ED, devido à utilização do circuito de agitação estar reduzida a 30% do tempo funcionamento (8/24h), será expectável que o número de avarias aumente, bem como o TPP, e, portanto, os custos de avaria anuais calculados. Posicionando todos os equipamentos em tempo de vida útil (equivalente a considerar que a taxa de avaria é diretamente proporcional ao tempo de funcionamento) poderá ser pressuposto que aumente para o triplo e, portanto, 45.000€/ano e 135h/ano.

Posteriormente, realizou-se uma análise mais específica das principais causas que levariam à elevada proporção de avarias que esta zona da fábrica acarreta face às restante (38% do total de avarias registadas), considerando para o efeito um gráfico de dispersão com as duas variáveis definidas para análise - o TPP e o custo de avaria (Figura 4.10).

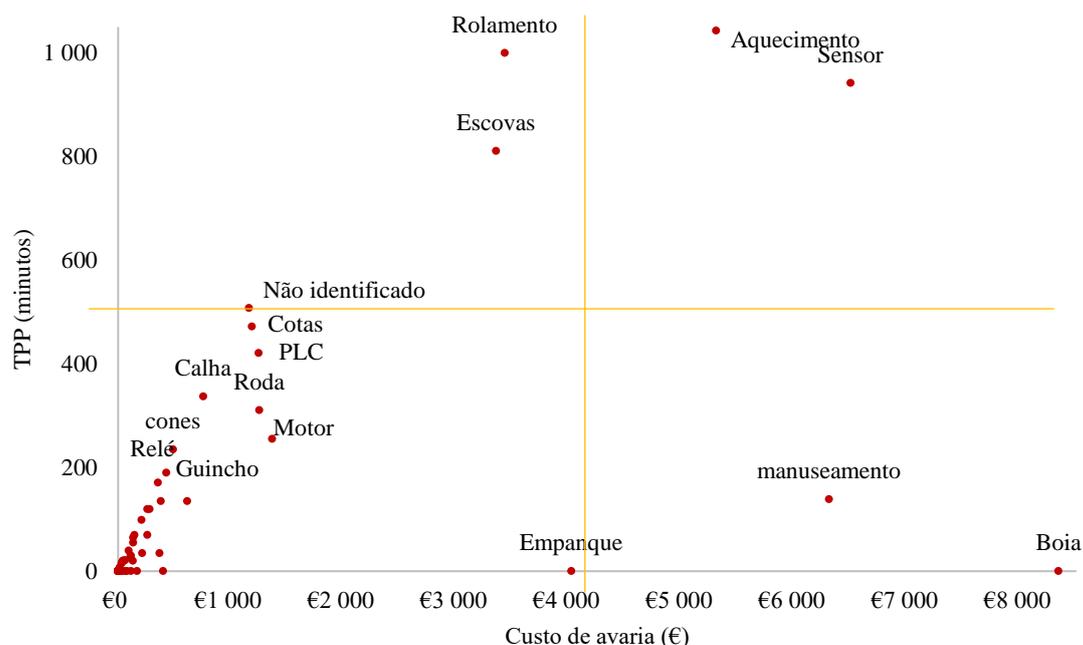


Figura 4.10 Gráfico de dispersão das causas e respetivos custos de avaria e TPP totais

Através do gráfico (Figura 4.10) verifica-se que as principais causas contribuidoras para a reduzida produtividade da zona do PT-ED estão associadas à falta de aquecimento no PT, a falhas nos sensores em geral, às escovas e rolamentos, aos autómatos, a causas não identificadas, ao mau manuseamento e empanques, a avarias relacionadas com as boias do processo hidráulico no ED, e ainda à pinça (componente do ED necessário de excluir da representação no gráfico por questões de escala). Adicionalmente, o presente gráfico de dispersão permitiu que se chegasse à conclusão que a fórmula utilizada para a definição do custo total de avaria em (1), a par com a adaptação realizada com exclusão das parcelas relacionadas com a qualidade, pelas razões acima mencionadas, contribuiu para que o custo de avaria estivesse fortemente dependente dos tempos de paragem (TPP e TP) e portanto do fator tempo. Tendo em conta esta permissa, considerou-se apenas relevante a construção de um diagrama de Pareto para a identificação das principais causas (20%) que têm como consequência 80% do tempo de paragem da produção (TPP) total da amostra em estudo (Figura 4.11).

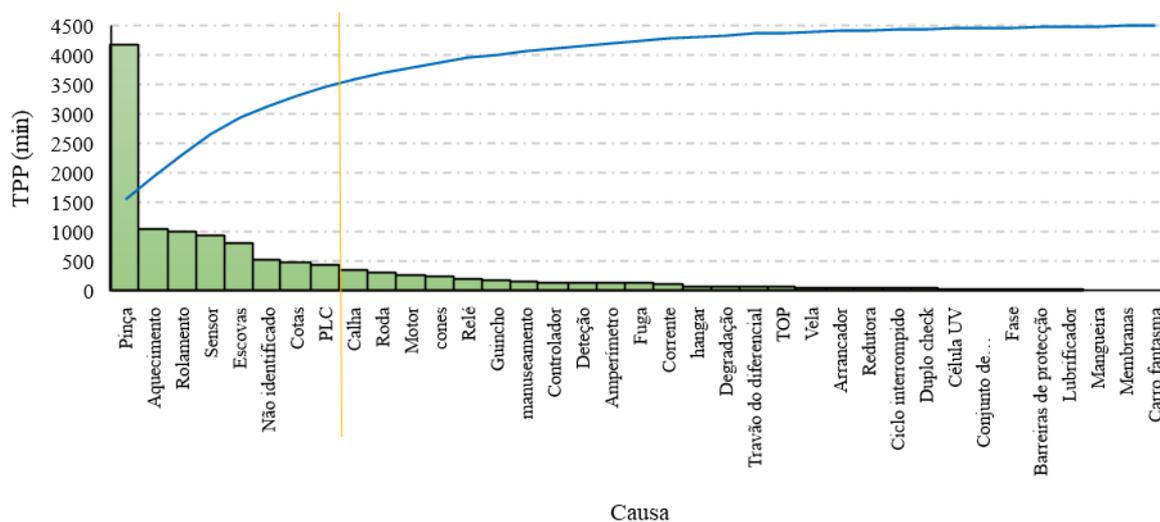


Figura 4.11 Diagrama de Pareto Causa-TPP

Face ao Diagrama de Pareto (Figura 4.11), rapidamente se distingue novamente a pinça, no entanto a proporção tomada por esta causa está associada à grande paragem previamente referida, portanto excluiu-se de análises adicionais. De seguida, temos a falta de aquecimento no PT, que após observação das ocorrências na BD também se excluiu de uma análise mais aprofundada por ser representada por dois acontecimentos isolados. Após

discussão com a empresa relativamente às restantes causas, concluiu-se que as causas-raiz associadas às avarias nos rolamentos, nas escovas, nos sensores e autómatos em geral, já eram do conhecimento da equipa técnica e, portanto, os seus estudos aprofundados não acresciam o valor pretendido para o trabalho em curso. Consequentemente, o estudo das avarias cuja causa não foi identificada definiu-se como a causa mais interessante para análise no âmbito desta dissertação.

Para se aprofundar as razões que levam ao elevado número de avarias cuja causa não é identificada recorreu-se a um diagrama de Ishikawa exposto na Figura 4.12.

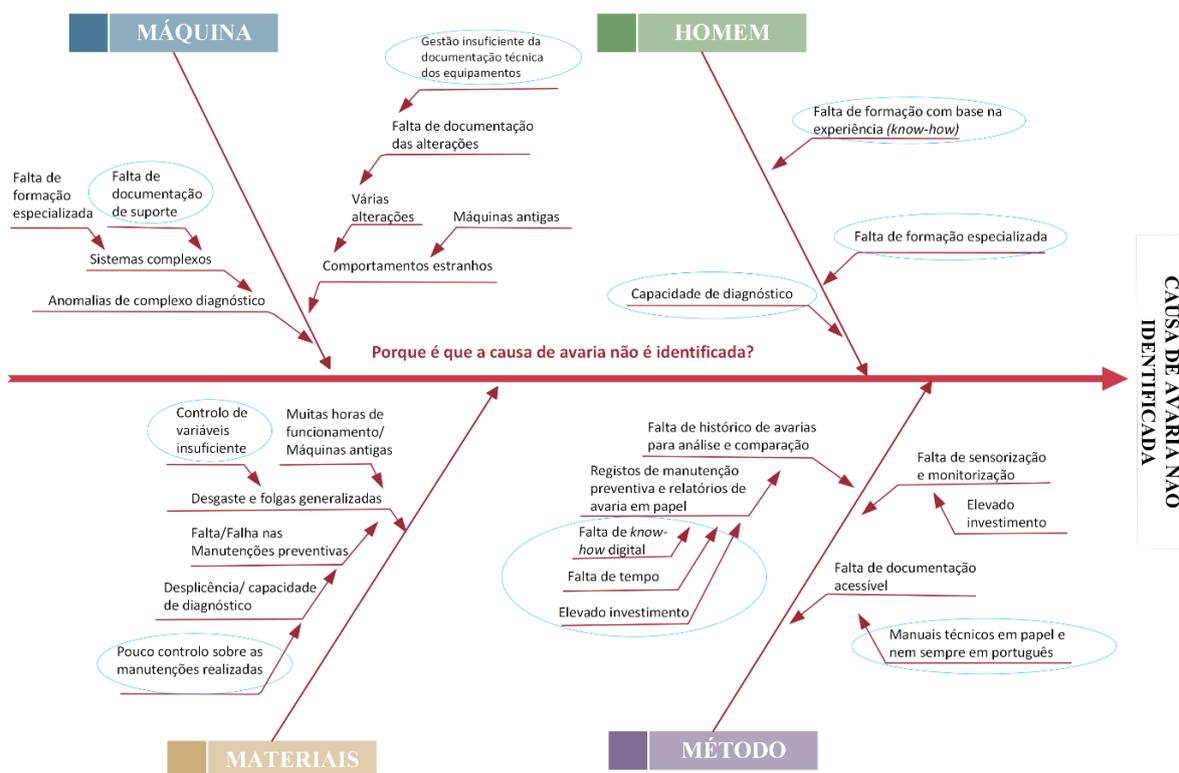


Figura 4.12 Diagrama de Ishikawa para as causas de avaria definidas como “Não identificadas”

As principais conclusões retiradas da análise de causas raiz (rodeadas a azul no diagrama da Figura 4.12) para a existência de uma elevada proporção de causas não identificadas no PT-ED, estão em grande parte relacionadas com os problemas identificados dentro dos processos de gestão da manutenção, como é o caso de P4 e P7: os manuais técnicos em papel (P4) refletida no diagrama em falta de documentação de suporte e de documentação acessível, e o pouco controlo sobre as manutenções realizadas (P7). Por outro lado, esta análise explora mais aprofundadamente os problemas P8, P5, P1 e P6: com a falta

de sensorização e monitorização (P8) a ser justificada pelo elevado investimento necessário e com a inexistência de um histórico de avarias por equipamento (P5) justificada pelos registos de manutenções preventivas e corretivas serem em papel (P1 e P6) que por sua vez se deve à falta de know-how digital, à falta de tempo e ao elevado investimento necessário. Complementarmente, acrescem-se a falta de formação especializada, a falta de capacidade de diagnóstico e o controlo de variáveis insuficiente. De notar, que todas as causas raiz apontadas, se devem ao “porquê” da causa poder ter sido declarada como não identificada pelo TM que assim a declarou, não necessariamente por ser generalizada. Por exemplo, a formação com base no know-how e experiência ou a falta de documentação de suporte não é generalizada, é sim, centralizada, numa só pessoa ou num arquivo na área de manutenção, algo que no âmbito da Indústria 4.0, que defende precisamente a descentralização e acessibilidade à informação, se pretende combater.

Por fim, o paralelismo que se verifica entre a presente análise técnica e a previamente realizada ao nível de processo, com base no conhecimento até agora adquirido leva-nos a concluir que a principal causa da grande maioria dos problemas sentidos poderá estar relacionada com a escassa visibilidade e integração das atividades de manutenção, algo que poderá ser considerado um objetivo a atingir com a digitalização de processos. Uma reflexão mais detalhada sobre o tópico irá então ser desenvolvida no capítulo seguinte.

4.6. Propostas de melhoria – Definição do TO-BE

No presente capítulo, pretendem-se apresentar propostas de melhoria para os problemas identificados e, com base nas mesmas, definir uma abordagem *step-by-step* a médio-longo prazo para chegar à reestruturação do TO-BE.

Com base no enquadramento teórico realizado no capítulo 2, ao olhar aos problemas a mitigar levantados no capítulo 4.4. e 4.5, uma das primeiras conclusões retiradas é que, embora estejamos perante uma necessidade de implementação de tecnologias, no âmbito da Indústria 4.0, para combater muitas das causas identificadas como fortes contribuidoras para os TPP na zona do PT-ED, antes de se pensar em investir em tecnologias de forma a conseguir uma maior visibilidade, existem ainda muitos problemas a eliminar dentro do âmbito da digitalização dos processos de gestão. Por sua vez, para se garantir essa digitalização de processos é ainda necessário começar pelo investimento em medidas no

âmbito da digitalização da informação (“*digitization*”), isto é, facilitar a passagem da informação física para a digital, de forma a permitir a recolha e tratamento de dados, bem como a sua acessibilidade para, por fim, atingir uma maior visibilidade e melhor tomada de decisão, potenciadas por tecnologias frequentemente associadas à Indústria 4.0.

Nesse sentido, a Figura 4.13 procura propor de forma sucinta uma abordagem *step-by-step* de pontos a ponderar, projetar, atingir e garantir, para aumentar o nível de maturidade na avaliação de *readiness* realizada, previamente ao investimento em novas tecnologias.

Na Figura 4.13, é possível verificar um conjunto de propostas em forma de *checklists* divididas em fases de implementação por objetivos, bem como uma última linha intitulada de “ganhos”. Esta linha, pretende demonstrar a resolução progressiva dos problemas levantados em 4.4, mas relembra-se que os ganhos finais possíveis – numa situação ideal – poderão chegar a um limite de 19mil euros por ano (4mil euros por ano em MUDAs identificados e possivelmente suprimidos ao nível dos processos de gestão da manutenção - Tabelas 4.2, 4.3, 4.4 e 15 mil euros por ano evitados em custos de avaria – capítulo 4.5).

Esta abordagem, foi escolhida dado que a literatura estudada sugere que em prol da digitalização de processos e da Indústria 4.0, as dificuldade sentidas pelas empresas prendem-se em grande parte ao nível organizacional (Tabela 2.1), ou seja no caminho, no desenvolvimento de competências e de um plano estruturado e bem pensado antes de partir para a implementação do *hardware* e demais tecnologias, que efetivamente se traduzem em benefícios desejados, que são visivelmente sentidos ao nível do aumento da produtividade.

No caso específico da TCAP e em particular da área da manutenção e do PT-ED estamos perante 2 níveis de desenvolvimento diferentes. Isto é, ao nível de gestão, os processos apontados como fraquezas na avaliação de maturidade (todos com a exceção do A3.1. Planeamento da Manutenção Preventiva) não chegam a cumprir os requisitos de digitalização (“*digitization*”) da informação básicos à digitalização de processos. Já ao nível do PT-ED, com o nível de automação possuído nas máquinas e equipamentos, é possível afirmar que este já cumpre alguns requisitos de digitalização (“*digitization*”) da informação, no entanto, mesmo cumprindo estes requisitos, o processo de monitorização e controlo diário do mesmo fica aquém de ser considerado digitalizado. Ou seja, a informação digital é recolhida, mas não é extraída nem partilhada sem ser para os vários quadros em papel de verificações diárias de parâmetros existentes dentro da pintura (quadros de verificações diárias dentro da pintura inalcançável sem EPIs próprios – exemplo no Anexo C).

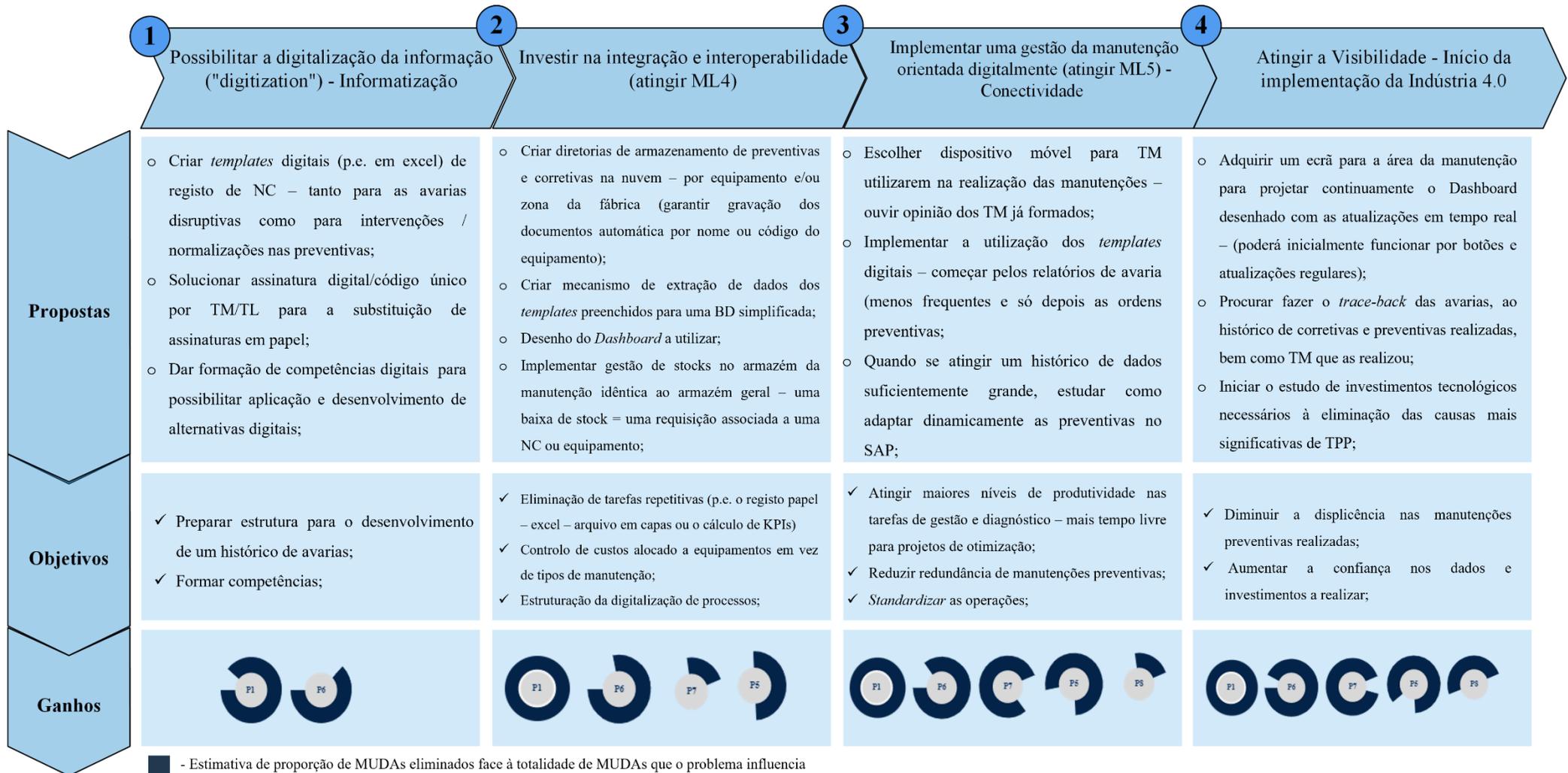


Figura 4.13 Propostas de melhoria por metas baseadas nos níveis e requisitos para a digitalização de processos definidas por Schuh et al (2017) e De Carolis et al. 2(017) adaptadas ao caso de estudo

Complementarmente, em apêndice (Apêndices I,J e K) encontram-se reestruturados (TO-BE) os processos de manutenção estudados tendo em conta as propostas de melhoria apresentadas até à fase 4 (Figura 4.13).

Face ao exposto, propõe-se que previamente à implementação de tecnologias que potencialmente irão contribuir para melhorias ao nível das reações às avarias, às tomadas de decisão e à mitigação das principais causas das grandes paragens desta zona da fábrica, se possibilite tanto a recolha mais eficaz de dados, como a construção de “caminhos” que permitam estas informações interagir e formar dados concretos para análise. Desta forma, conseguem ser atingidos dados suficientes para ser tratados a curto, médio e longo prazo para criar uma gestão integrada e digitalmente orientada.

Quando implementada uma gestão de processos, suportada em dados reais (digitalmente orientada), estamos em condições de passar ao investimento na visibilidade, isto é, na partilha de dados em tempo real (“*what is happening?*” - Figura 1, Anexo A) que, só será possível através do investimento em sensorização e demais tecnologias no âmbito da Indústria 4.0.

No entanto, perante as seguintes propostas, coloca-se a questão de se será esta a melhor forma de gerir a mudança e a transição para o digital para TM e TL/GL que não lidam diariamente com tecnologias ou possuem competências para a análise e tratamento de dados em tão grande escala. Portanto, antes de dar início ao conjunto de propostas sugere-se uma reflexão prévia sobre: quem desenvolverá os pequenos projetos nas *checklists*, para quais existem competências dentro da organização para execução e quando se pretende atingir cada um dos objetivos.

O raciocínio por trás da lógica de transição apresentada na Figura 4.13 baseia-se na interpretação do estudo aprofundado do trabalho desenvolvido com o DREAMY e do modelo proposto por Schuh et al. (2017) cujo as abordagens, do ponto de vista desta dissertação, de certa forma, se complementam relativamente a reflexões necessárias a considerar, por parte das empresas, no que toca à estruturação e preparação de requisitos – *readiness* - para uma bem sucedida implementação da Indústria 4.0.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusão

Como objetivo principal desta dissertação, pretendia-se apoiar a TCAP na implementação de soluções digitais, com o foco no aumento da produtividade. Para tal, quatro metas foram estabelecidas, podendo-se considerar que todas foram alcançadas. Complementarmente, a estrutura pensada para o desenvolvimento deste caso de estudo a par com as dificuldades sentidas ao nível da aplicabilidade dos modelos de *readiness* e maturidade, levou a que fosse desenvolvida uma metodologia, que foi adaptada ao contexto industrial da TCAP, pelo que se considera que também esse trabalho constituiu um dos principais contributos desta dissertação.

Ao nível das principais conclusões retiradas das análises realizadas, estas dividem-se em duas partes: a primeira relativamente à análise dos processos da área da manutenção e PT-ED, e a segunda relativamente à comparação da realidade observada na TCAP com a literatura analisada.

Em primeiro lugar, o que se conclui é que efetivamente a produtividade pode aumentar tirando partido da digitalização e da implementação das tecnologias no âmbito da Indústria 4.0. Ao nível dos processos de gestão da manutenção, através da digitalização dos processos podem ser conseguidas melhorias de produtividade quer através da diminuição dos inputs (suprimindo os MUDA identificados) como aumentando os outputs (melhorando a qualidade e rapidez da informação retirada para a tomada de decisão). Posteriormente, ao nível específico do PT-ED aumentando o output de produto (através da diminuição do *down time*) e diminuindo os inputs (com a redução dos tempos de manutenções realizadas pelos operadores manualmente).

No entanto, o conjunto de propostas de melhoria apresentados, não pretendem, trazer os equipamentos a um nível de taxa de avaria zero, pretendem sim, preparar os processos da organização para a implementação de tecnologias que venham a diminuir o tempo de reação à avaria, aumentar a “exatidão” da prevenção à avaria e para, posteriormente, chegar a uma fase de previsibilidade à avaria (manutenção preditiva). Para tal, e como é perceptível ser

transversal a mais processos e áreas dentro da TCAP, é necessário, facilitar o processo de “*digitization*”, para conseguir seguir com a reestruturação e digitalização dos processos e assim beneficiar da implementação das tecnologias da Indústria 4.0, justificando-se assim uma abordagem dividida em quatro fases de preparação (Figura 4.13).

Por fim, uma das principais reflexões ao nível do paralelismo da exploração deste caso de estudo a par com o enquadramento teórico realizado, é que embora a TCAP não possua mais de 250 efetivos, nem um balanço superior a 43 milhões de euros, possui sim um volume de negócio acima dos 50 milhões de euros e, portanto, não pode ser considerada uma PME, dentro do qual o enquadramento foi feito, mas sim das médias-grandes empresas (MGEs). No entanto, o que se verifica é que os principais desafios levantados fruto dos estudos publicados em relação especificamente ao contexto das PMEs, são os que melhor se adequam à realidade na TCAP.

5.2. Limitações

Ao nível do desenvolvimento deste caso de estudo foram sentidas algumas limitações no que toca a estruturação de uma metodologia adequada à exploração da digitalização de processos em contexto industrial. Adicionalmente, mesmo depois de estruturada a metodologia, a principal dificuldade sentida, salientada também Dillinger et al., (2022) está relacionada com a grande maioria dos modelos de maturidade no contexto da Indústria 4.0 não serem adequados para autoaplicação, ou porque são alvo de propriedade intelectual e não estão disponíveis para utilização, ou porque são demasiado complexos para as empresas os utilizarem como ferramentas de suporte livremente. Neste caso de estudo, ainda se acresceu a dificuldade ao nível da adequabilidade dos modelos existentes ao nível de desenvolvimento tecnológico da empresa. Inevitavelmente, isto refletiu-se então em ter-se recorrido à adaptação de um modelo, o que poderá representar uma fragilidade às conclusões retiradas.

Por fim, salienta-se ainda as limitações ao nível da recolha de dados, com a necessidade de transcrição da informação ao nível do histórico de avarias para se poder obter uma amostra suficientemente grande e com o facto de não ter sido possível quantificar os custos de qualidade associados às avarias, levando a que o fator custo de avaria se revelasse altamente dependente do fator tempo. Embora estes dois fatores tenham sido limitadores da

exatidão dos dados tratados, considera-se que não tenham posto em questão as conclusões retiradas e propostas de melhoria sugeridas.

5.3. Trabalho futuro

Como trabalho futuro, propõe-se a implementação das propostas de melhoria sugeridas, nomeadamente ao nível de planeamento e da gestão da mudança. As análises realizadas focalizaram-se na parte técnica e de processo, mas como já mencionado, é necessário ter em conta também a dimensão humana e organizacional e as respetivas inter-relações. Ou seja, é importante refletir sobre, por exemplo, quem desenvolverá os pequenos projetos identificados nas *checklists*, se existem competências dentro da organização para o seu desenvolvimento e execução e quando se pretende atingir cada um dos objetivos.

Paralelamente, ao nível académico e científico, considera-se que desta dissertação resultam ainda duas perguntas. A primeira, devido ao facto da TCAP integrar o grupo das MGE e se identificar no contexto da Indústria 4.0 como PME, pretende avaliar se será efetivamente o tamanho e disponibilidade financeira de uma organização que influencia as barreiras sentidas face à implementação da Indústria 4.0, ou haverão outros fatores a influenciar essa capacidade (como por exemplo a indústria em que se inserem). Por fim, a segunda e mais importante questão que se propõe responder como trabalho futuro passa por procurar perceber se a metodologia proposta no capítulo 3 (Figura 3.1) é válida para outras realidades industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agca, O., Gibson, J., Godsell, J., Ignatius, J., Davies, C. W., & Xu, O. (2017). *An Industry 4 readiness assessment tool*. www.warwick.ac.uk/scip1
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. In *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), pp. 899–919.
- Bajic, B., Rikalovic, A., Suzic, N., & Piuri, V. (2021). Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Managerial Perspective. *IEEE Systems Journal*, 15(1), 546–559.
- Basl, J., & Doucek, P. (2019). A metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of industry 4.0. *Information (Switzerland)*, 10(3), 89.
- Brennen, J. S., & Kreiss, D. (2016). Digitalization. In *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*, pp. 1–11.
- Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., & Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, 107, 22–32.
- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226.
- de Carolis, A., Macchi, M., Negri, E., & Terzi, S. (2017a). A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 513, pp. 13–20.
- de Carolis, A., Macchi, M., Negri, E., & Terzi, S. (2017b). Guiding manufacturing companies towards digitalization a methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap. *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, pp. 487–495.
- Denner, M. S., Püschel, L. C., & Röglinger, M. (2018). How to Exploit the Digitalization Potential of Business Processes. *Business and Information Systems Engineering*, 60(4), pp. 331–349.
- Dillinger, F., Bernhard, O., Kagerer, M., & Reinhart, G. (2022). Industry 4.0 implementation sequence for manufacturing companies. *Production Engineering*.
- Felch, V., Asdecker, B., & Sucky, E. (2019). Maturity Models in the Age of Industry 4.0—Do the Available Models Correspond to the Needs of Business Practice? *52nd Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, HI, USA*, 5165–5174.

- Fleischmann, A., Oppl, S., Schmidt, W., & Stary, C. (n.d.). *Contextual Process Digitalization Changing Perspectives-Design Thinking-Value-Led Design*.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), pp. 910–936.
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. In *Journal of Cleaner Production*, 252. Elsevier Ltd.
- Glossary, G. (n.d.-a). No Title. <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digitization>, consultado em 17-01-2022
- Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M. A., & Abdullah, N. L. (2020). Industry 4.0 readiness models: A systematic literature review of model dimensions. In *Information (Switzerland)*, 11(7), pp. 1–13.
- Jung, K., Kulvatunyou, B., Choi, S., & Brundage, M. P. (2016). An overview of a smart manufacturing system readiness assessment. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 488, pp. 705–712.
- Kellner, T., Necas, M., Kanak, M., Kyncl, M., & Kyncl, J. (2020). Assessment of Readiness for Industry 4.0 Implementation in Ceramic Industry. *Manufacturing Technology*, 20(6), pp. 763–770.
- Khan, A., & Turowski, K. (2016). A survey of current challenges in manufacturing industry and preparation for industry 4.0. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 450, pp. 15–26.
- Kiang, K. L., Fen, F. P., Ong, B., Wen, N. W., & Fen, O. S. (2019). *The prioritisation matrix -catalysing the transformation of manufacturing*. www.edb.gov.sg.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), pp. 239–242.
- Lassnig, M., Müller, J. M., Klieber, K., Zeisler, A., & Schirl, M. (2018). A digital readiness check for the evaluation of supply chain aspects and company size for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(9), pp. 1–18.
- Li, J., Merenda, M., & Venkatachalam, A. R. (2020). Business Process Digitalization and New Product Development: An Empirical Study of Small and Medium-Sized Manufacturers. In *International Journal of E-Business Research*, 5(1),
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (2015), “IMPULS - Industrie 4.0-Readiness”
- Lin, T.-C., Wang, K. J., & Sheng, M. L. (2020). (Lin et al. 2020) To assess smart manufacturing readiness by maturity model- a case study on Taiwan enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(1), 102–115.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. In *Journal of Industrial Information Integration*, 6, pp. 1–10.
- Machado, C. G., Winroth, M., Almström, P., Ericson Öberg, A., Kurdve, M., & AlMashalah, S. (2021). Digital organisational readiness: experiences from

- manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(9), pp. 167–182.
- Machado, C. G., Winroth, M., Carlsson, D., Almström, P., Centerholt, V., & Hallin, M. (2019). Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, 81, pp. 1113–1118.
- Maisiri, W., & van Dyk, L. (2019). Industry 4.0 readiness assessment for South African industries. *South African Journal of Industrial Engineering*, 30(3), pp. 134–148.
- Mansour, H., Aminudin, E., & Mansour, T. (2021). Implementing industry 4.0 in the construction industry- strategic readiness perspective. *International Journal of Construction Management*.
- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121.
- McLaughlin, S. A. (2017). Dynamic capabilities: Taking an emerging technology perspective. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 31(1–3), pp. 62–81.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). In *Journal of Manufacturing Systems*, 49, pp. 194–214.
- Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E., & Eburdy, R. (2020). Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *International Journal of Production Research*, 58(5), pp. 1384–1400.
- Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1).
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224.
- Ramanathan, K. (2020). *Assessing the readiness for industry 4.0 and the circular economy* (V. Anbumozhi, K. Ramanathan, & H. Wyes, Eds.), pp. 56-107. Economic Research Institute for ASEAN and East Asia (ERIA).
- Ramanathan, K., & Samaranayake, P. (2022). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: a self-diagnostic framework and an illustrative case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(3), pp. 468–488.
- Royce, W. (2002). CMM vs. CMMI: From Conventional to Modern Software Management.
- Saad, S. M., Bahadori, R., & Jafarnejad, H. (2021). The smart SME technology readiness assessment methodology in the context of industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(5), pp. 1037–1065.

-
- Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). *A Conceptual Framework for Industry 4.0*. In: *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, pp. 3–23.
- Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., & ten Hompel, M. (2020). *Using the Industrie 4.0 Maturity Index in Industry*.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). *acatech STUDY Industrie 4.0 Maturity Index Managing the Digital Transformation of Companies*.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, pp. 161–166.
- Sony, M. (2020). Pros and cons of implementing Industry 4.0 for the organizations: a review and synthesis of evidence. *Production and Manufacturing Research*, 8(1), 244–272.
- Sony, M., & Naik, S. (2020). Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. In *Benchmarking*, 27(7), pp. 2213–2232.
- Spaltini, M., Acerbi, F., Pinzone, M., Gusmeroli, S., & Taisch, M. (2022). Defining the Roadmap towards Industry 4.0: The 6Ps Maturity Model for Manufacturing SMEs. *Procedia CIRP*, 105, pp. 631–636.
- Tripathi, S., & Gupta, M. (2021). A holistic model for Global Industry 4.0 readiness assessment. *Benchmarking*, 28(10), pp. 3006–3039.
- Vogel-Heuser, B., & Hess, D. (2016). Guest Editorial Industry 4.0-Prerequisites and Visions. In *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(2), pp. 411–413.
- Xu, L. da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), pp. 2941–2962.
- Yang, F., & Gu, S. (2021). Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies. *Complex & Intelligent Systems*, 7(3), pp. 1311–1325.

[ANEXO A] – ESQUEMA DAS FASES DE DESENVOLVIMENTO PARA SE ATINGIR A INDÚSTRIA 4.0 DE “THE ACATECH INDUSTRIE 4.0 MATURITY INDEX”

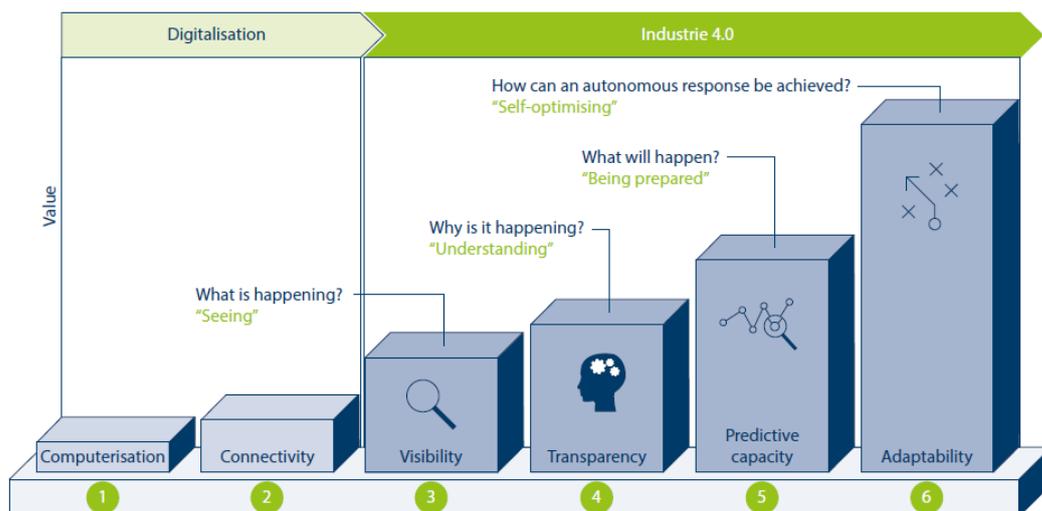


Figura 1 – 6 fases de desenvolvimento para a Indústria 4.0 que começa com os requisitos básicos necessários dentro da digitalização (Fonte: Schuh et al, 2017)

[ANEXO B] – ESQUEMATIZAÇÃO DO MERGULHO NO PROCESSO DE PINTURA ED

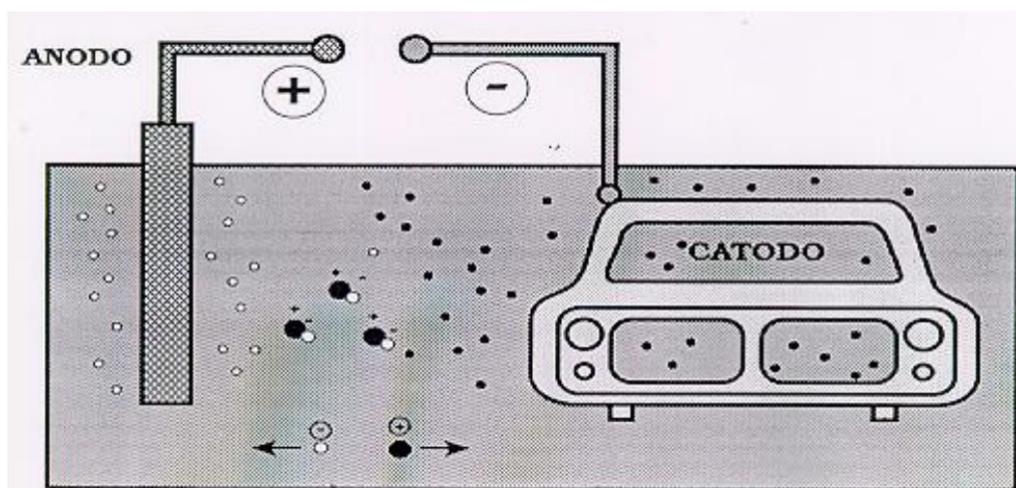


Figura 1 – Mergulho no processo de pintura por eletrodeposição catódica (Fonte: Documento interno adaptado de Daniel Fontanesi Rossi de PPG Ibérica S.A. 2000)

[ANEXO C] – FOLHAS DE VERIFICAÇÕES DIÁRIAS DE MANUTENÇÃO NA PINTURA



Figura 1- Exemplo de folhas de verificação da manutenção na pintura

[APÊNDICE A] - REVISÃO DA LITERATURA DE MODELOS DE READINESS PARA A INDÚSTRIA

4.0

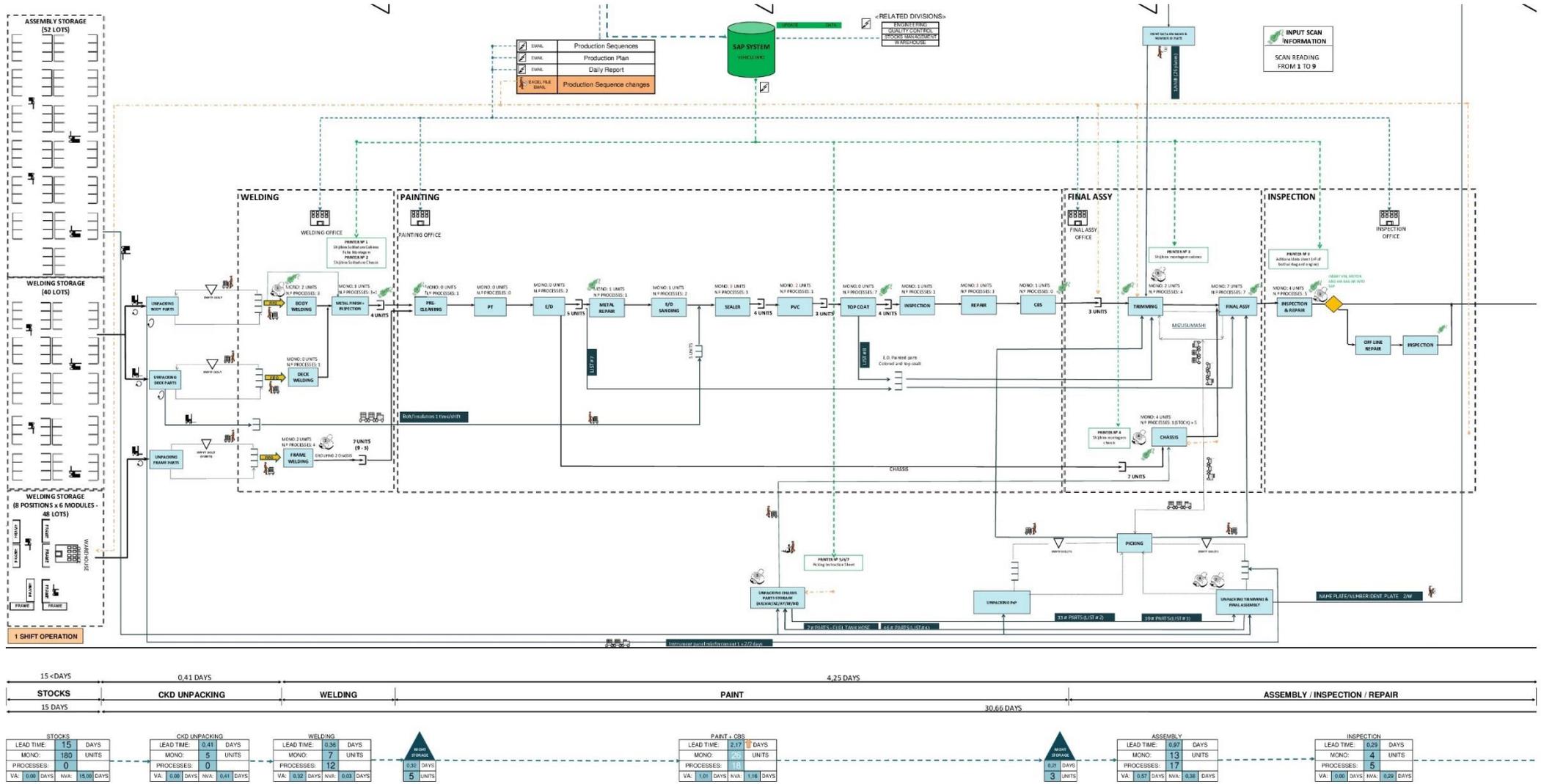
Artigo	Nome do modelo	Autores	Resumo/Aplicabilidade	Dimensões/ Subdimensões	Razões de exclusão
<u>1.</u>	<u>SIRI</u>	<i>Lin et al. , 2020</i>	<ul style="list-style-type: none"> Este artigo deu-nos a conhecer o SIRI-Smart Industry Rediness Index, desenvolvido pela EDB (<i>Economic Development Board</i>) de Singapura com o apoio de empresas como a McKinsey, Siemens, SAP, etc. Aplicabilidade confirmada em 80 empresas na área da manufatura. Dividido em duas partes: SIRI e posterior aplicação de uma matriz de priorização de áreas de implementação. 	<ul style="list-style-type: none"> 3 clusters (Processo, Tecnologia, Organização) 8 pilares (Operações, Cadeia de abastecimento, Ciclo de vida do produto, Automação, Conectividade, Inteligência, Talent Readiness, Estrutura e Gestão) 16 dimensões (Integração vertical, horizontal e do ciclo de vida do produto; Automação/Conectividade/Inteligência do Chão de fábrica, da Empresa e das Infraestruturas; Desenvolvimento e formação da mão de obra, Competência da liderança, Colaboração inter e intra empresa, Estratégia e administração) 	<ul style="list-style-type: none"> Para utilização do SIRI é necessário ser-se ou tornar-se um “SIRI <i>Assessor</i>” ou contactar um.
<u>2.</u>	<u>GRAMI 4.0</u>	<i>Tripathi & Gupta, 2021</i>	<ul style="list-style-type: none"> Este modelo <i>Global Readiness Assessment Model for Industry 4.0</i> é um modelo macro utilizado para fazer a avaliação de 126 economias, consoante 7 dimensões: ambiente propicio, recursos humanos, infraestruturas, ecologia sustentável, capacidade de inovação, cibe segurança e consumidores. 	<ul style="list-style-type: none"> 7 dimensões: Ambiente propicio, Recursos humanos, Infraestruturas, Ecologia sustentável, Capacidade de inovação, Cibe segurança e Consumidores. 	<ul style="list-style-type: none"> Trata-se de um modelo desenvolvido para avaliação de Readiness ou maturidade de países no geral e não de uma empresa específica numa indústria específica.
<u>3.</u>	<u>SSTRA</u>	<i>Saad et al., 2021</i>	<ul style="list-style-type: none"> O <i>Smart SME Technology Readiness Assessment</i> é uma metodologia que utiliza um processo hierárquico (AHP) para priorizar requisitos, impulsionadores e tecnologias para uma “<i>Smart SME</i>”; Constituído por 3 fases: recolha de dados, benchmarking de tecnologia e fase de avaliação; Facilmente alinhável com o STAR (Strategic Technology Roadmapping). 	<ul style="list-style-type: none"> Avalia a <i>Readiness</i> conforme as 3 principais áreas de <i>smart product design</i>: Execução do Design, Flexibilidade do Sistema de Design e Tecnologias de Design com dados em tempo real; 	<ul style="list-style-type: none"> Grande foco no design no produto que é uma área apenas ainda em desenvolvimento na empresa do caso em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

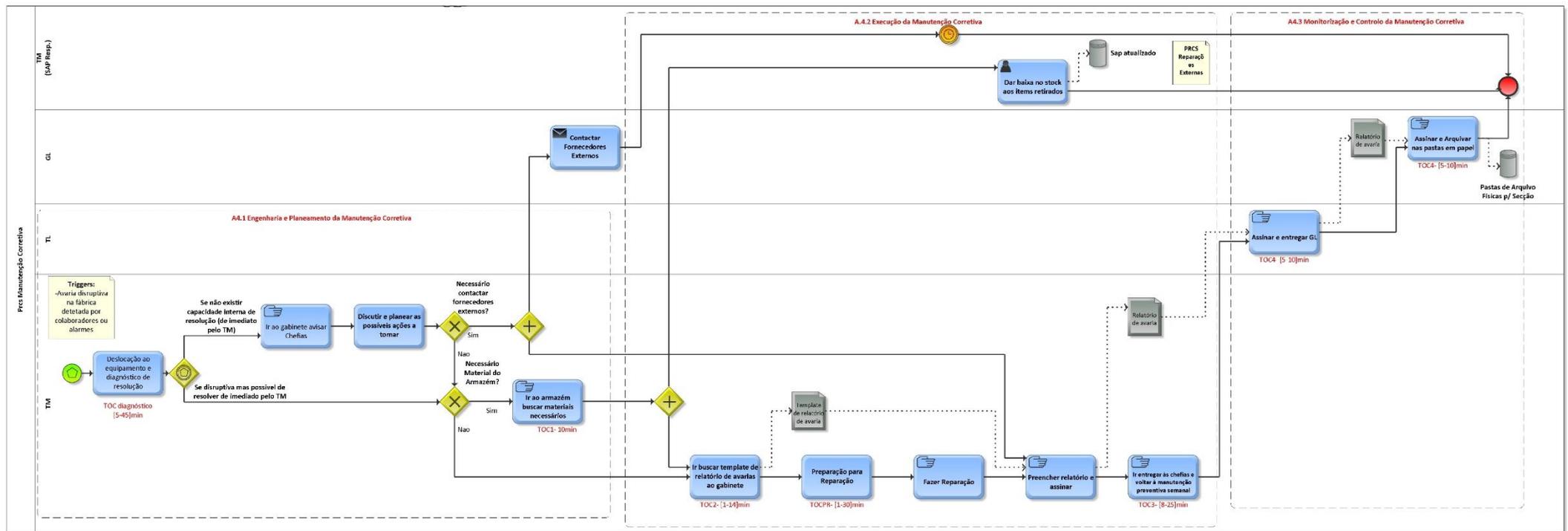
4.	<u>DRC</u>	<i>Lassing et al., 2021</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Digital Readiness Check (DRC) uma ferramenta de auto avaliação online desenvolvida pela União Europeia na fronteira Alemanha-Austria. • Avalia o grau de desenvolvimento das empresas em relação à Indústria 4.0 e com foco especial em aspetos da SC e faz a diferenciação entre SMEs e grandes empresas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Assesmente feito através de um questionário com 24 itens questões (3 para cada dimensão, sendo as respostas dadas utilizando a <i>Likert scale</i> com 6 opções. • Estratégia, Pessoas, Início de transações de negócio, Digitalização da cadeia de abastecimento com base no modelo SCOR - <i>Plan, Procurement, Production, Delivery and Return, Service and Maintenance</i>, Dados em relação ao <i>background</i> da empresa 	<ul style="list-style-type: none"> • Atribui uma particular atenção à Gestão da cadeia de abastecimento, que não é o que se pretende avaliar dada a "simplicidade" da cadeia de abastecimento atual da empresa em estudo.
5.	<u>Industry 4.0 Readiness Model for Refractory</u>	<i>Kellner et al., 2020</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo desenvolvido e aplicado especificamente para e na indústria dos materiais refratários, com base em modelos já existentes. • Para além de procurar identificar o estado de Readiness, procura também identificar os <i>bottlenecks</i> pois os autores sugerem que estes devem ser os pontos de partida para o plano de implementação. 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 categorias: Status da empresa, Situação de mercado IT e infraestrutura, Materiais utilizados, Processos de produção, Fluxo de dados e informação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Os próprios autores ao realizarem uma análise SWOT do modelo desenvolvido, afirmam que este não pode ser aplicado a mais nenhuma indústria.
6.	<u>I4.0RAF</u>	<i>Ramanathan & Samar anayake, 2021</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Este artigo propõe uma framework de avaliação de <i>Readiness</i>: I4.0RAF aplicada numa grande empresa de garrafas de vidro em forma de caso de estudo, no entanto, foi testado também num caso da indústria automóvel; • Propõe um esquema de planeamento e implementação para o processo de transição com base no sugerido por (Frank et al. 2019); • Privilegia que a avaliação seja feita através da participação independente de vários departamentos (<i>cross functional</i>), seguida de discussão; 	<ul style="list-style-type: none"> • Propõe 8 dimensões: Estratégia e Organização; Chão de fábrica e Equipamento, Gestão de operações - GCA, Gestão de Operações-Qualidade; Gestão de Operações-Consumo, Gestão da Energia, Definição de Produto, Recursos humanos, ITS e Gestão de Dados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Embora tenha sido encontrada a totalidade do método de classificação do I4.0RAF (Referência). O que se verificou é que o nível mais baixo da grande maioria das dimensões era demasiado exigente para o caso em estudo.
7.	<u>ConFIRM (AHP-TOPSIS)</u>	<i>Mansour et al., 2021</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de tomada de decisão multicritério- ConFIRM- para medir a <i>Readiness</i> estratégica de empresas de construção. Baseado numa versão modificada do AHP-TOPSIS. Validade perante u painel de experts na malásia; 	<ul style="list-style-type: none"> • Sendo um modelo hierárquico, está dividido em 3 aspetos (capital humano, relacional e estrutural) que por sua vez são compostos por 21 componentes distribuídos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo desenvolvido para a indústria da construção em específico.
8.	<u>An Industry 4 Readiness Assessment Tool</u>	<i>University of Warwick</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Esta ferramenta desenvolvida pela Universidade de Warwick a par com uma consultadoria e uma firma de advocacia; • Testado em 53 empresas, sendo a maior parte de um setor B2B; • A maioria das respostas eram de executivos ou <i>senior management</i>, mas foi utilizada uma amostra de uma diversificada variedade de cargos); 	<ul style="list-style-type: none"> • Com 6 dimensões e 37 sub-dimensões (Produtos e serviços, <i>Manufacturing</i> e operações, Estratégia e organização, Cadeia de Abastecimento, Modelo de negócio, Considerações legais) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo bastante idêntico a um modelo já utilizado para avaliar a empresa deste caso de estudo. Não utiliza <i>Linkert scale</i>.

9.	<u>Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity</u>	<u>Schumacher et al. , 2016</u>	<ul style="list-style-type: none"> Tendo sido este um dos primeiros modelos desenvolvidos no tópico, o desenvolvimento desse modelo baseia-se apenas noutros 5 modelos; O objetivo seria estender a dimensão “Tecnologias” em relação a modelos anteriores, bem como de dar grande enfoque a dimensões organizacionais ; 	<ul style="list-style-type: none"> Propõe um modelo com 9 dimensões (Produtos, Clientes, Operações e Tecnologias, Estratégia, Liderança, Gestão, Cultura e Pessoas) e 62 itens. O questionário desenvolvido é feito com base numa pergunta por cada item. 	<ul style="list-style-type: none"> Um dos primeiros modelos com foco tanto em Tecnologia como na Organização, no entanto o questionário não é público, apenas partilha alguns exemplos.
10.	DREAMY	<u>De Carolis et al. 2017</u>	<ul style="list-style-type: none"> O Digital REadiness Assessment Maturity Model foi desenvolvido propositadamente para indústrias de manufatura e revela orientação para a construção de um <i>Roadmap</i> posterior à sua aplicação; Este modelo foi inspirado nos princípios/<i>framework</i> do CMMI (<i>Capability Maturity Model – Integration</i>) pelo que atribui grande enfoque à “integração” e “interoperabilidade”. 	<ul style="list-style-type: none"> Avalia 5 áreas: 1.Engenharia e Design 2. Gestão da produção 3. Gestão da qualidade 4. Gestão da manutenção 5. Gestão logística. E em cada uma 4 dimensão: Processos, Monitorização e Controlo, Tecnologia, Organização. 	<p>_____</p>
11.	<u>The Acatech Industrie 4.0 Maturity Index</u>	<u>Schuh et al. 2017</u>	<ul style="list-style-type: none"> Este modelo surge de um contexto de investigação com base em casos de estudo, que permite uma empresa estabelecer quais capacidades ainda precisa de desenvolver; Defende um caminho com 6 fases de desenvolvimento para a I4.0 que começa com os requisitos básicos necessários: Digitalização (Informatização e Conectividade) e Indústria 4.0 (Visibilidade, Transparência, Capacidade preditiva, Adaptabilidade) 	<ul style="list-style-type: none"> Divide-se em 4 áreas estruturais dividindo-se cada uma das áreas em 2 dimensões: Recursos (capacidade digital e comunicação estruturada), Sistemas da Informação (processamento de informação com auto aprendizagem, integração dos sistemas de informação), Cultura (vontade de mudar e colaboração social) e Estrutura organizacional (organização orgânica interna e colaboração dentro da cadeia de valor). E 5 áreas funcionais: Desenvolvimento, Produção, Logística, Serviços e Marketing e vendas.; 	<ul style="list-style-type: none"> Elevada complexidade do modelo face à informação disponível do mesmo.
12.	IMPULS	<u>Lichtblau et al. 2015</u> <u>VDMA</u>	<ul style="list-style-type: none"> Este modelo foi um dos primeiros a ser desenvolvido e foi com o intuito de apoiar as empresas de manufatura alemã na sua necessidade de informação detalhada sobre a implementação da Indústria 4.0; As empresas são classificadas em: “recém chegados”, “aprendizes” ou “líderes”; O output deste modelo é uma avaliação de 0-100% a cada dimensão. E, no fim, são identificadas as barreiras para prosseguir para o nível seguinte e proposto um plano de ação para colmatá-las. 	<ul style="list-style-type: none"> Possui 5 níveis de classificação de Readiness. A avaliação é feita através de 24 questões em relação às 6 dimensões e com algumas adicionais sobre a indústria/empresa: Estratégia e organização, Fábricas inteligentes, Produtos Inteligentes, <i>Data-Driven</i> Serviços, Operações inteligentes e Pessoas. 	<ul style="list-style-type: none"> Para além de ser um dos modelos pioneiros na área, as dimensões estão muito aquém da realidade na empresa deste caso de estudo provavelmente por não ser adequado a PMEs (Saad et. al. , 2021)

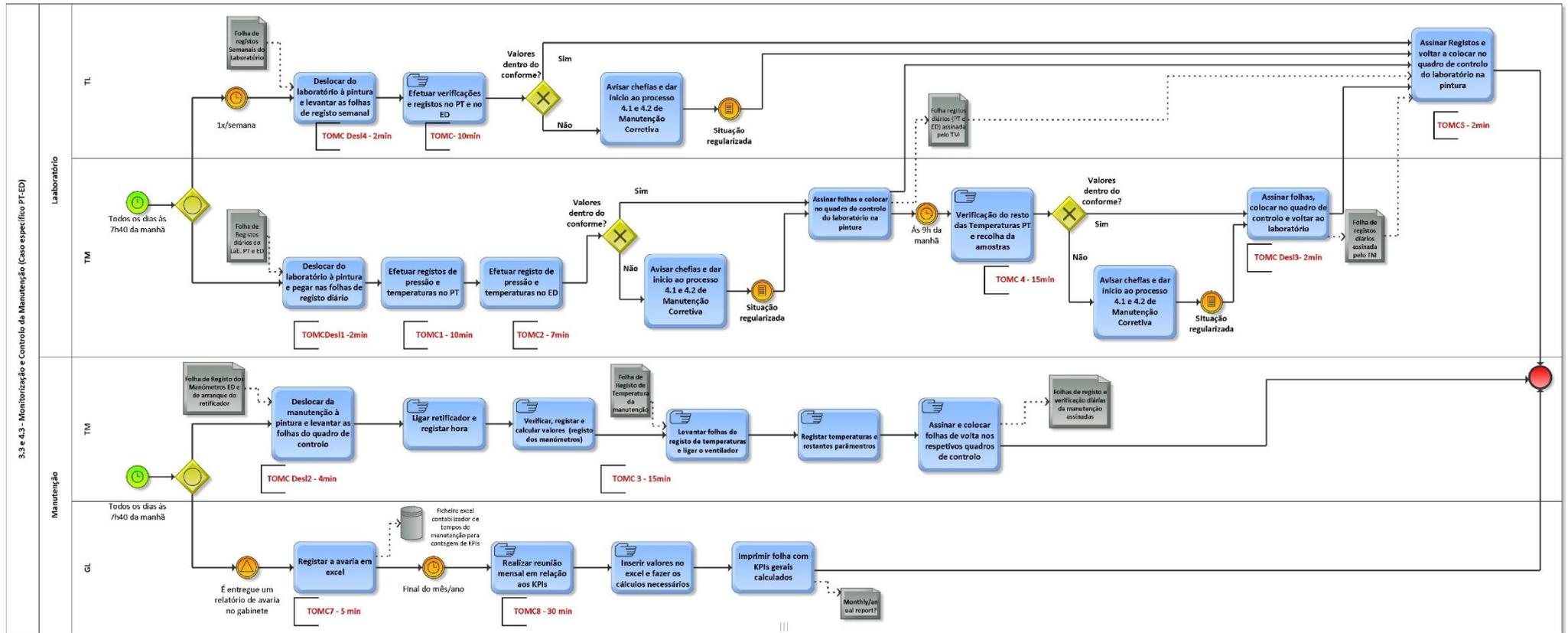
[APÊNDICE B] – VALUE STREAM MAP DO PROCESSO PRODUTIVO – LINHA LC70



[APÊNDICE D] – BPMN DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA



[APÊNDICE E] – BPMN DO PROCESSO DE MONITONIZAÇÃO E CONTROLO DA MANUTENÇÃO



[APÊNDICE F] – DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS ADAPTADOS DO DREAMY

Processo	Descrição
A1.1. Planeamento da Produção	Processo de gestão da produção desde que é recebida a ordem de encomenda até que o produto acabado é expedido para o camião da transportadora.
A1.2. Execução da Produção	Processo que engloba todas as operações e/ou atividades necessárias à transformação e/ou montagem, dos componentes do CKD desde que este entra em linha até ser considerado produto acabado.
A1.3. Monitorização e Controlo da produção	Processo de recolha e tratamento da informação com o intuito de controlar e monitorizar todas as métricas e KPIs considerados como relevantes para o bom funcionamento da linha de produção, quando estes façam sentido serem controlados e/ou analisados.
A.1.4. Gestão da Melhoria Contínua	Processo de gestão e controlo de todos os processos e/ou projetos com foco na melhoria da eficiência e/ou eficácia de uma determinada atividade ou processo dentro da produção.
A2.1. Aprovação de Novos Equipamentos/Componentes/ Procedimentos (Pré-Produção)	Processo de gestão e controlo da entrada de novos componentes/ equipamentos/ procedimentos em linha, e todas as atividades necessárias para garantir a qualidade exigida pelo cliente. (processo multiáreas)
A2.2 – Gestão/Garantia da Qualidade (Em Produção)	Conjunto de processos ou procedimentos e todas as atividades de gestão dos mesmos, realizadas durante a produção de forma a garantir a qualidade exigida pelo cliente.
A2.3. Monitorização e Controlo da Qualidade (Pós-Produção)	Conjunto de processos de controlo da qualidade de produtos acabados e de recolha de informação a fim de controlar e monitorizar todas as métricas e KPIs considerados como relevantes para a garantia de qualidade exigida pelo cliente.
A3.1. Planeamento da Manutenção Preventiva	Processo definido desde a receção de um equipamento/nova infraestrutura até ser definida a execução de uma manutenção preventiva a esse mesmo equipamento. Inclui a preparação de todas as informações e trabalhá-las de forma a obter um planeamento geral de toda a estrutura da organização, que deverá ter como objetivo um output de distribuição de tarefas diárias/semanais/mensais de forma sequencial.
A3.2. Execução da Manutenção Preventiva	Processo definido desde que é recebida a ordem de que se deve executar uma manutenção preventiva num certo equipamento até que ela é dada como terminada.
A3.3.e A4.3. Monitorização e Controlo da Manutenção	Processo de recolha e tratamento de informação a fim de controlar e monitorizar todas as métricas e KPIs considerados como relevantes para a manutenção dos equipamentos.

A4.1. Engenharia e Planeamento da Manutenção corretiva	Processo de reação a uma avaria até se ter definido como resolver. Pode englobar a necessidade de recorrer a outro colaborador, de discutir com os TLs qual a melhor estratégia e definir quando se irá tomar ação.
A4.2. Execução da Manutenção corretiva	Processo desde que existe uma decisão final de estratégia e planeamento a adotar até se termina de preencher a prova como se realizou as atividades que se executaram. (preenchimento do relatório)
A5.1. Logística de Receção	Processo de gestão da receção do CKD até ser armazenado e considerado como stock de armazém.
A5.2. Logística Interna	Conjunto de processos necessários para garantir um fluxo estruturado e eficiente de todos os materiais/componentes à linha.
A5.3. Logística de Expedição	Processo de preparação e gestão desde que o produto acabado sai de linha (<i>line off</i>) até à carga no camião da transportadora.
A5.4 – Monitorização e Controlo da Logística	Processo de recolha e tratamento de informação com o fim de controlar e monitorizar todas as métricas e KPIs considerados como relevantes (p.e. stocks, tempos de abastecimento, etc...) e quando possam ser importantes para a parte logística do processo produtivo, ao serem controlados e analisados.

[APÊNDICE G] – EXCERTO DA ENTREVISTA Nº4 – TEAM LEADER DA ENGENHARIA DE PROCESSO – PROCESSO A1.2. EXECUSÃO DA PRODUÇÃO

Entrevistador

“Consideraria que o processo de execução da produção possui uma sólida estrutura tecnológica e com grande potencial de crescimento?”

Entrevistado

“Atualmente?”

Entrevistador

“Sim.”

Entrevistado

“Eu acho que não. Tem potencial de crescimento, mas não é sólido.”

Entrevistador

“Então e consideraria que existe pouco ou nenhum controle sobre a execução da produção?”

Entrevistado

“Existe algum controlo, mas é pouco, sim, eu acho que é pouco. Já tivemos melhor nesse aspeto. Existem ferramentas para, não na questão da Indústria.4.0... mas existem. Ou seja, existem ferramentas manuais que nos permitem controlar a produção, mas que neste momento são pouco usadas.”

Entrevistador

“Então e as decisões tomadas na execução da produção são com base em objetivos específicos de integração, por assim dizer, como, falou nas ferramentas de controlo serem muito manuais... ou seja?”

Entrevistado

“É assim, as tarefas que eles executam são sempre com base numa definição que já existe e que somos nós que a fazemos como engenharia. Ou seja, nós fazemos a definição do que é que eles têm que fazer, mas eu não controlo o que é que eles fazem, isso é mais a produção que o tem de fazer.”

Entrevistador

“Mas com base da experiência de quem está a executar?”

Entrevistado

“Sim com experiência, com o treino que tem que ter... Agora da nossa parte como engenharia, nós temos que dar o standard e temos que lhes dar documentação para eles terem acesso para aprender.”

(...)

Entrevistador

“Então, podemos considerar que existem boas práticas de planeamento e gestão?”

Entrevistado

“Existem boas práticas de planeamento e gestão? Sim, no modo geral. Não posso dizer não.”

(...)

Entrevistador

“E acha que podemos considerar que a execução da produção pode ser limitada por responsabilidades organizacionais ou tecnologias facilitadoras?”

Entrevistado

“Deixe-me ver se eu entendi a pergunta. Ou seja, se a gestão atual pode melhorar ou não de acordo com...???”

Entrevistador

“Sim, pode se aplicar o poder ser melhorada, mas mais relativamente a se as responsabilidades organizacionais e tecnologias facilitadoras ou não limitam essa gestão e planeamento.”

Entrevistado

“Sim, sim. Nesse sentido acho que é limitada...”

Entrevistador

“Pronto isto vai de encontro com a integração e interoperabilidade que referi no início”

Entrevistado

“Sim, sim estou a perceber...”

Entrevistador

“Mas não considera fraca?”

Entrevistado

“Não, não considero fraca, mas é limitada.”

Entrevistador

“Hmm, então e consideraria como uma gestão de processos reativa?”

Entrevistado

“O processo produtivo em si, não, mas por vezes... Por vezes isso acontece sim, é muito reativo. É relativo...”

(...)

Entrevistador

“Existem alguns gaps de integração e interoperabilidade na aplicação e troca de informação?”

Entrevistado

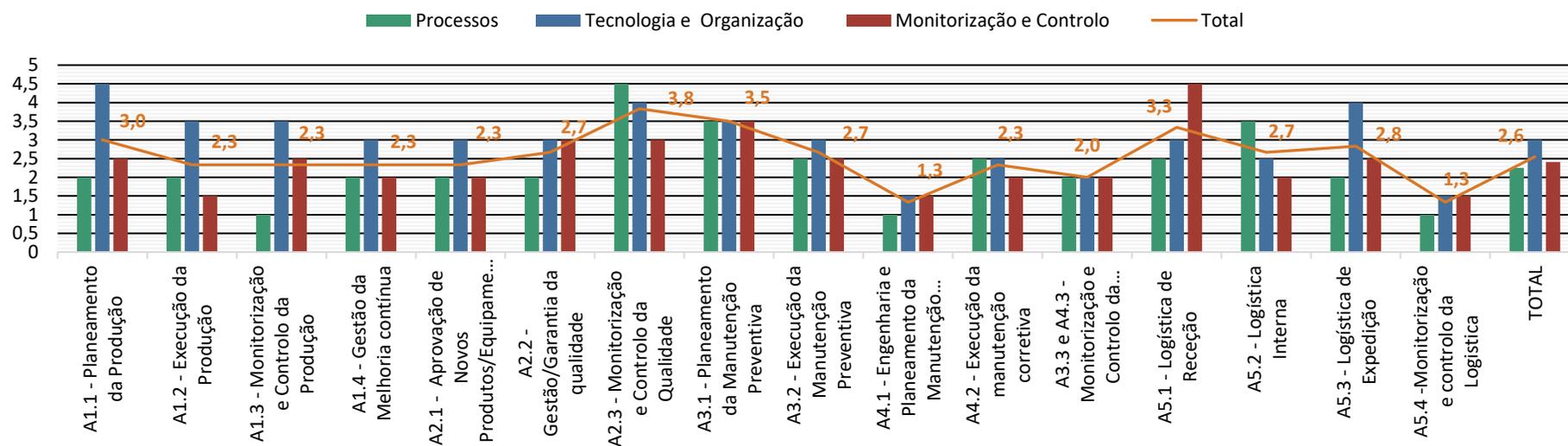
“Existem. Bastantes até.” (...)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

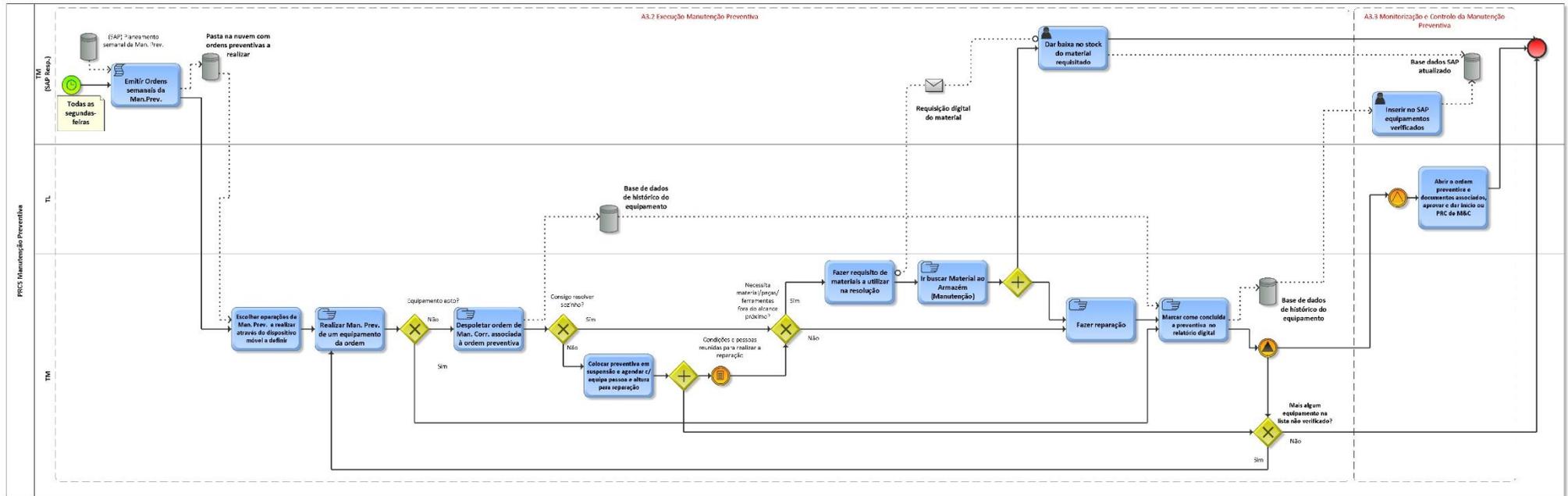
Da anterior entrevista surge a seguinte matriz de avaliação preenchida pelo entrevistador durante a entrevista:

Matriz de avaliação							
Dimensão/ Nível de Maturidade	ML1 - Iniciante	ML2 - Gerido	ML3 - Definido	ML4 - Integrado/ (Interoperabilidade)	ML5 - Digitalmente Orientado		
Processos (como são/ acontecem/ desenvolvem/etc)	Gestão do processo é reativa; Infraestruturas não permitem repetibilidade/ usabilidade/ extensibilidade das soluções já utilizadas	Parcialmente planeado/implementado	Boas práticas de planeamento e gestão	Totalmente planeado e implementado	Sólida estrutura tecnológica e infraestrutura: grande potencial de crescimento		
Tecnologia (que tecnologias suportam estes processos)	Falta de organização e/ou tecnologia	Gestão fraca por falta de organização ou tecnologias facilitadoras	Gestão limitada por responsabilidades organizacionais ou tecnologias facilitadoras	Utilização de standards comuns a toda a empresa (melhores da indústria) em termos organizacionais e tecnológicos		Colaboração entre funções empresariais e tomada de decisão	
Organização (como são as estruturas organizacionais do processo)							
Monitorização e Controlo (como é feito o controlo e recebido o feedback de execução)	Pouco/nenhum contolo	Decisões por objetivos especificos ou com base na experiência do decisor	Alguns gaps de integração e interoperabilidade na aplicação e troca de informação	Construído com base na integração e interoperabilidade de algumas aplicações e troca de informação	Alto nível de integração e interoperabilidade; Rápida e poderosa troca de informação		
A1.2 - Execução da Produção							
Dimensão/ Nível de Maturidade	ML1 - Iniciante	ML2 - Gerido	ML3 - Definido	ML4 - Integrado/ (Interoperabilidade)	ML5 - Digitalmente Orientdo	Classificação	
Processos (como são/ acontecem/desenvolvem/etc)	s	n	s	n	n	ML1/ML3	2
Tecnologia (que tecnologias suportam estes processos)		n	s	s			ML3/ML4
Organização (como são as estruturas organizacionais do processo)							
Monitorização e Controlo (como é feito o controlo e recebido o feedback de execução)	s	s	n			ML1/ML2	1,5
FINAL A1.2						ML2/ML3	2,33

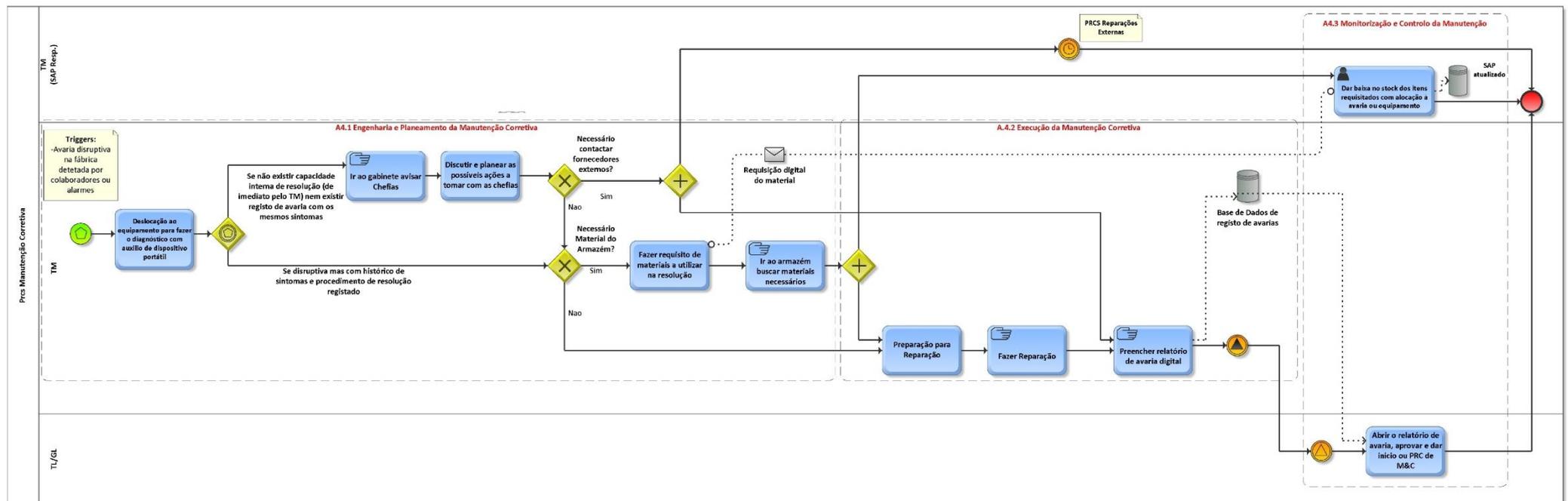
[APÊNDICE H] - RESULTADOS DE AVALIAÇÃO POR DIMENSÕES E POR MACROPROCESSO



[APÊNDICE I] – BPMN RESTRUTURADO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA



[APÊNDICE J] – BPMN RESTRUTURADO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA



[APÊNDICE K] – BPMN RESTRUTURADO DO PROCESSO DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DA MANUTENÇÃO

