Indústria 4.0: Programa de melhorias em centros de maquinagem numa indústria metalomecânica

Emanuel Estrada Lopes

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo José Rego Gil da Costa

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2017-07-13

*"Quem o inimigo conhece e se conhece a si mesmo,
nunca em cem batalhas correrá perigo.*

*Quem o inimigo não conhece, e apenas se conhece a si mesmo,
terá iguais hipóteses de vencer e perder.*

*Quem o inimigo não conhece, nem se conhece a si mesmo,
poderá ter a certeza que correrá perigo em qualquer batalha."*

Sun Tzu em A Arte da Guerra

Resumo

O presente trabalho insere-se no âmbito da divulgação e aplicação de um novo paradigma industrial a nível internacional, a Indústria 4.0. Este conceito pressupõe uma profunda digitalização das sociedades empresariais, através do recurso às mais avançadas tecnologias de informação para gestão, transmissão, recolha e análise de dados.

Com vista a um melhoramento dos procedimentos produtivos numa indústria metalomecânica, o presente projeto foi desenvolvido como um elemento percursor de uma estratégia de inovação. Para a reformulação dos atuais processos de valor, necessária à implementação de um sistema de controlo e gestão compatíveis com os pressupostos da Industria 4.0, tendo como base nas intenções dos responsáveis da firma, a base desta reforma assentará numa modernização dos equipamentos produtivos atuais, em paralelo com um investimento nas vertentes tecnológica e de análise de dados.

Após um enquadramento acerca dos aspetos mais atuais inerentes à quarta revoução industrial, é apresentado um levantamento do estado atual dos procedimentos produtivos da organização, em paralelo com a aplicação de modelos de "prontidão" e "maturidade" para Indústria 4.0, para uma avaliação concisa da sua situação presente. Finalmente, foram propostos requisitos para a melhoria e para a modernização dos sistemas e processos de produção vigentes.

Industry 4.0: Improvement program in machining centers in a metal-mechanical industry

Abstract

The present work is related with the application of a new international industrial paradigm, Industry 4.0. This concept presumes a profound digitization of companies, regarding the use of the most advanced information technologies for management, transmission, collection and data analysis.

With the purpose of improving the production processes within a metalforming industry, this project was developed as precursor element for an innovation strategy. In order to reformulate the current value processes, necessary to implement a control and management system compatible with the assumptions related with Industry 4.0, based on the intentions of the company managers, the foundation of this reform will be based on a modernization of the current productive equipments, in parallel with an investment in information technologies for data analysis.

After a summary of the most up-to-date aspects of the fourth industrial revolution, a study of the current state of the organization productive procedures is presented, along with the application of Industry 4.0 "readiness" and "maturity" models, for a concise evaluation of its current situation. Finally, some improvement requisits were prepared for an update of the company production processes and systems.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a toda a minha familia, ao meu pai, à minha mãe, ao meu irmão, por todo o apoio e aconselhamento ao longo dos últimos meses e por me incutirem uma constante motivação, curiosidade e sentido de busca por um desenvolvimento e realização profissional e pessoal.

Ao Professor Eduardo José Rego Gil da Costa, orientador na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, por todo o tempo disponibilizado, orientação e aconselhamento durante a realização do trabalho.

Ao Professor Américo Azevedo pelas considerações e elucidações construtivas alusivas a alguns aspetos do tema abordado.

Ao Engenheiro Tiago Brito e Faro, orientador na entidade empresarial, por todo o conhecimento e orientação prestados, inerentes à experiência pelos inúmeros anos associado à atividade industrial.

Aos Engenheiros Asif Mohammed, Filipe Coutinho e André Silva pelo acompanhamento, companheirismo, sugestões e considerações oferecidas durante o período de dissertação e desenvolvimento do projeto na empresa.

A todos os restantes colaboradores da empresa, por me terem proporcionado todas as condições necessárias à realização do trabalho.

Por ultimo, a todos os meus amigos por toda a amizade e apoio demonstrados ao longo de todo este período.

Índice de Conteúdos

1 Introdução 1
1.1 Enquadramento e motivação 1
1.2 Apresentação da organização 1
1.3 Objetivos do projeto 2
1.4 Metodologia utilizada 2
1.5 Limitações do projeto 3
1.6 Estrutura do documento 3
2 Revisão bibliográfica 4
2.1 Indústria 4.0 – A quarta revolução industrial. 4
2.1.1 Um novo paradigma 4
2.1.2 A Internet das Coisas 6
2.1.3 Sistemas produtivos ciber-físicos 7
2.1.4 Fábricas e produtos inteligentes 10
2.1.5 A interação humana na Indústria 4.0 13
2.1.6 Modelo Arquitetónico de Referência “Industrie 4.0” 14
2.2 Modelos de Maturidade 16
2.2.1 Noção 16
2.2.2 Aplicação 17
2.2.3 Modelos de Maturidade para Indústria 4.0 17
3 Avaliação da situação atual da organização 19
3.1 Panorama atual da organização 19
3.1.1 Estrutura organizacional da Adira 19
3.1.2 Sistemas de Informação 20
3.1.3 Processos de Valor 21
3.2 Análise dos Centros de Maquinagem 25
3.2.1 Considerações prévias 25
3.2.2 Produtos em análise 25
3.2.3 Levantamento dos subprocessos de maquinagem 26
3.2.4 Dados de desempenho de maquinagem 28
3.2.5 Oportunidades de melhoria observadas 33
3.3 Grau de maturidade para “Indústria 4.0” 34
3.3.1 PwC – Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment 34
3.3.2 IMPULS – Industrie 4.0 Readiness 35
4 Requisitos e propostas para melhorias Indústria 4.0 37
4.1 Requisitos do Sistema 4.0 37
4.2 Requisitos para centros de maquinagem 38
4.2.1 Requisitos mecânicos 38
4.2.2 Requisitos tecnológicos 39
4.2.3 Requisitos para programação, conceção e manutenção 40
4.3 Cenários estimados 42
4.3.1 Primeiro cenário de melhoria 42
4.3.2 Segundo cenário de melhoria 43
4.3.3 Aspetos não considerados na criação dos cenários 45
4.4 Arquitetura Indústria 4.0 45
5 Conclusões e propostas de trabalho futuro 48
5.1 Considerações finais 48
5.2 Perspetivas de trabalho futuro 49
Referências 50
ANEXO A: Exemplo de Micro Processos de Maquinagem 54

ANEXO B: Dados adicionais de processo de maquinagem 57
ANEXO C: Componentes do modelo de maturidade *PwC* 58
Anexo D: Componentes do modelo de maturidade IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness* 59
Anexo E: Resultados da aplicação do modelo *PwC – Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment* 66
Anexo F: Relatório da aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness* 68
Anexo G: Terceiro cenário de melhoria 78
Anexo H: Medidas de ação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness* 80

Siglas

AdminShell – Administration Shell
BDA – Big Data Analysis
CAD – Computer-aided Design
CAM – Computer-aided Manufacturing
CMMI – Capability Maturity Model Integration
CPMT – Cyber-physical Machine Tool
CPPS – Cyber-physical Production Systems
CPS – Cyber-physical Systems
CRM – Customer Relationship Management
ERP – Enterprise Resource Planning
FIR – Instituto de Gestão Industrial da Universidade RWTH de Aachen
I4.0 – Indústria 4.0
IIoT – Industrial Internet of Things
IoT – Internet of Things
IT – Information Technologies
MES – Manufacturing Execution System
MRP – Manufacturing Resource Planning
MT4.0 – Machine Tool 4.0
OPM3 – Organizational Project Management Maturity Model
PwC - PricewaterhouseCoopers
R&H – Research and Development
RAMI 4.0 – Reference Architecture Model Industrie 4.0
RFID – Radio Frequency Identification
SF – Smart Factory
SMED – Single Minute Exchange of Die
SO – Smart Object
SP – Smart Products
TI – Tecnologias de informação
VDMA – Federação Alemã de Engenharia

Índice de Figuras

Figura 1 – As revoluções industriais (Fonte: McKinsey & Co.) 5
Figura 2 – Internet das coisas, pessoas e serviços (Fonte: (Kagermann, Wahlster et al. 2013)) 6
Figura 3 – Arquitetura 5C (Fonte: (Monostori, Kádár et al. 2016)) 9
Figura 4 – RAMI 4.0 (Fonte: *Plattform Industrie 4.0*) 14
Figura 5 – Objeto e camada de administração (Fonte: *Platform Industrie 4.0*) 15
Figura 6 – Organograma da empresa 20
Figura 7 – Processos da cadeia de valor 22
Figura 8 – Processos em foco no estudo 24
Figura 9 – Processos de fabrico 24
Figura 10 – Hierarquia de processos de fabrico 26
Figura 11 – Subprocessos de maquinagem 26
Figura 12 – Proporção de tempo afeto aos subprocessos de maquinagem no cenário real 29
Figura 13 – Proporções reais dos tempos de atividade 30
Figura 14 – Proporção de tempo afeto aos subprocessos de maquinagem no cenário ideal 31
Figura 15 – Proporções ideais dos tempos de atividade 31
Figura 16 – Diagrama de causa-efeito para perdas de produtividade na secção de maquinagem 33
Figura 17 – Resultado geral de avaliação pelo modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness* 36
Figura 18 – Elementos e interações da arquitetura "Indústria 4.0" 45

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Modelos de maturidade e prontidão (Fonte: (Schumacher, Erol et al. 2016)) 18
Tabela 2 – Rúbricas de atividade dos cenários de levantamento 28
Tabela 3 – Rúbricas de desempenho dos cenários de levantamento 29
Tabela 4 – Dados de desempenho do cenário real 30
Tabela 5 – Tipos de configurações observadas 31
Tabela 6 – Rubricas de desempenho atual para "Troca de ferramenta" 32
Tabela 7 – Rubricas de desempenho esperado para "Troca de ferramenta" 32
Tabela 8 – Dados de desempenho do cenário ideal 33
Tabela 9 – Melhorias incluídas em cada cenário de melhoria 42
Tabela 10 – Percentagens de redução dos tempos de configuração no primeiro cenário de melhoria 43
Tabela 11 – Percentagens de redução no primeiro cenário de melhoria 43
Tabela 12 – Percentagens de redução dos tempos de configuração no segundo cenário de melhoria 44
Tabela 13 – Percentagens de redução no segundo cenário de melhoria 44

1 Introdução

O presente documento foi elaborado no âmbito do programa de dissertação em ambiente empresarial do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O presente projeto surge no seguimento da divulgação de um novo paradigma industrial, a nível internacional, relacionado com a quarta revolução industrial – *Indústria 4.0* – e as consequentes necessidades de aumentar os níveis produtivos e competitivos das empresas.

A presente dissertação resulta de um estudo que pretende dar resposta às necessidades de reestruturação e reformulação dos atuais procedimentos produtivos da Adira, e constitui um elemento fundamental para o desenvolvimento de novos projetos, com vista a uma melhoria dos processos e dos equipamentos atuais da empresa.

1.1 Enquadramento e motivação

Com um foco muito preciso na crescente relevância do setor industrial nos países desenvolvidos, e respetivos níveis de produtividade, o melhoramento dos processos produtivos com recurso aos mais inovadores sistemas, equipamentos e métodos de produção aparece como um dos mais importantes fatores para assegurar a competitividade e sobrevivência das sociedades industriais atuais no longo prazo. Uma vez que proporciona uma redução de custos, a jusante de um aumento dos níveis de produtividade e margens associadas aos produtos comercializados, denota-se desde já a elevada importância destas inovações.

Com uma avultada quantidade de processos e modos de execução desatualizados e obsoletos para o panorama atual, e considerando as soluções tecnológicas, práticas e politicas de produção e trabalho já existentes, uma alternativa de modernização e atualização dos equipamentos, métodos e processos de trabalho, e conseguinte integração num sistema de informação, revela-se fulcral para o futuro das organizações.

A persecução das mudanças associadas à evolução para os níveis de produtividade e formas produtivas da quarta revolução industrial pressupõe um elevado nível de digitalização, integração e automação dos procedimentos produtivos e dos mecanismos tecnológicos de informação e comunicação. Deste modo, a empresa propôs a realização do presente projeto como forma de projeção das necessidades associadas às mudanças a realizar.

1.2 Apresentação da organização

O projeto foi desenvolvido na ADIRA Metalforming Solutions S.A., localizada em Canelas, Vila Nova de Gaia. A empresa foca a sua atividade na conceção e fabrico de equipamentos vocacionados para o tratamento e processamento de folhas metálicas: máquinas quinadoras, guilhotinas e equipamentos de corte a laser, entre outros.

Com mais de meio século de atividade e presente em inúmeros mercados a nível global, incluindo diversos países emergentes, a empresa usufrui de uma forte reputação no setor,

proporcionada tanto pela elevada competência e excelência dos seus colaboradores como pela fiabilidade das soluções e produtos proporcionados, o que lhe atribui uma vantagem competitiva significativa face aos seus concorrentes. A Adira possui um sistema de gestão da qualidade certificado segundo o referencial ISO 9001 e toda a gama de produtos possui certificação CE.

Recentemente, foi realizada a fusão entre a Adira e a Oxisol Construção Soldada SA, uma empresa de construção soldada do grupo Adira, responsável pela criação e fornecimento dos componentes metálicos necessários à construção dos produtos da empresa. Após esta ação, foi possível concentrar todas as operações numa única instalação industrial, através de uma deslocação das atividades administrativas, processos de montagem e de alguns equipamentos produtivos das instalações de Bessa Leite para o edifício da antiga Oxisol. Neste momento, encontra-se concluído todo o processo de mudança e remodelação das instalações, sendo a totalidade da atividade da empresa exercida em Canelas, Vila Nova de Gaia.

Com o intuito de permanecer ativa e competitiva nos mercados atuais, a par da dedicação de todos os seus parceiros e da imagem única criada perante os seus clientes, a empresa promove uma forte e constante inovação dos seus produtos, através de diversos projetos de investigação e desenvolvimento, como forma de apresentar sempre a mais competitiva, fiável e tecnologicamente avançada alternativa produtiva.

1.3 Objetivos do projeto

O presente projeto foi elaborado pelo departamento de engenharia da empresa, como forma de dar resposta às necessidades de melhoria dos atuais centros de maquinagem existentes. Através de uma iniciativa de inovação focada na persecução dos paradigmas da digitalização e integração de processos associados ao conceito de Indústria 4.0, a empresa procura realizar uma modernização dos atuais centros de maquinagem, utilizados na produção das estruturas metálicas indispensáveis aos seus produtos.

De modo a concretizar uma integração e digitalização de procedimentos e equipamentos, o presente projeto tem como objetivo levar a cabo um estudo acerca do estado atual da empresa e, em particular, dos seus centos de maquinagem, de forma a aferir um conjunto de necessidades de melhoria e inovação para a modernização dos atuais equipamentos de produção que deverão servir como ponto de partida para um programa de melhoramento das máquinas-ferramenta da Adira, ao nível dos seus componentes mecânicos, elétricos e tecnológicos, a ser realizado através da contratação de parceiros externos especializados.

Em linha com as intenções e objetivos descritos, será necessário um acompanhamento do processo produtivo e a realização de um levantamento dos procedimentos e dos métodos de trabalho, de forma a identificar os principais problemas encontrados e consequentes propostas de melhoria a aplicar no processo produtivo. Como objetivo final, é pretendido compilar requisitos, funcionalidades e melhorias necessárias e indispensáveis para a criação de um sistema "I4.0", tanto a nível dos equipamentos como dos próprios sistemas de informação e comunicação. É ainda proposta uma arquitetura funcional para o sistema, compatível com os pressupostos da Indústria 4.0.

1.4 Metodologia utilizada

No início do projeto foram efetuadas pesquisas e revisões bibliográficas acerca dos temas e noções inerentes ao paradigma da quarta revolução industrial.

Tendo em conta a importância da digitalização e do controlo de processos, dos procedimentos e dos recursos no âmbito da Indústria 4.0, o passo seguinte correspondeu à realização de um

levantamento exaustivo dos processos de maquinagem das estruturas metálicas utilizadas no fabrico dos produtos mais comercializados pela empresa.

Após a etapa de levantamento, e de acordo com os níveis de digitalização e partilha de informação requeridos, foram listadas as funcionalidades e requisitos mais importantes a introduzir nos equipamentos produtivos e nos sistemas de informação, para gestão e tratamento da grande quantidade de dados envolvida nas operações.

1.5 Limitações do projeto

Tendo em conta a curta duração do projeto em ambiente empresarial, a complexidade do problema em questão e o cariz atual e extremamente recente dos conceitos inerentes ao tema abordado, o estudo foi realizado com uma menor pormenorização do que a inicialmente prevista pela entidade.

A diversidade e a elevada quantidade de conceitos a abordar aquando de uma mudança estrutural, ou modernização, visando implementar pressupostos da Indústria 4.0, presumiria um estudo mais elaborado sobre requisitos mais concretos de digitalização, de oportunidades de melhoria e das respetivas medidas a adotar para a sua persecução.

Assim, o presente estudo será apenas focado num conjunto reduzido de equipamentos, sendo as conclusões resultantes elaboradas tendo em conta uma possível extrapolação para integração e digitalização dos equipamentos produtivos não abrangidos por este trabalho.

1.6 Estrutura do documento

O presente documento compreende cinco capítulos distintos, sendo o primeiro correspondente à presente parte e relativo os aspetos introdutórios alusivos à explicação, clarificação e contextualização do projeto e do seu âmbito.

De forma a proporcionar a melhor compreensão possível de todos os conceitos abordados, e tendo em conta o carácter inovador e recente de algumas das ideologias e conceitos presentes, no segundo capítulo procede-se a uma contextualização dos temas abordados, através de uma fundamentação assente em artigos, livros e publicações científicas.

O terceiro e quarto capítulos debruçam-se sobre o trabalho efetivamente realizado na organização. No terceiro capítulo é feita uma descrição do estado da empresa no início do projeto. No quarto capítulo são elencados alguns requisitos de melhoria necessários à concretização de um sistema "I4.0" na organização, focados na modernização dos equipamentos de maquinagem, com o objetivo final de aumentar os níveis de produtividade e controlar de forma mais eficiente os recursos e os procedimentos produtivos.

Por último, no quinto capítulo, são apresentadas as principiais conclusões retiradas após a finalização do trabalho. Tendo em conta a necessidade de uma continuidade do trabalho, são ainda tecidas considerações relativas a trabalhos e etapas futuras.

2 Revisão bibliográfica

No âmbito da realização de uma dissertação académica, revela-se pertinente a introdução de alguns conceitos, práticas e princípios, de cariz teórico, como ponto de partida para uma melhor abordagem e compreensão de todos os conceitos tratados nas partes seguintes do documento.

Deste modo, o presente capítulo detém o propósito de clarificar as problemáticas mais conjeturais associadas ao conceito de "Indústria 4.0", recorrendo a um fundamento de base literária assente na consulta de artigos e publicações especializadas nos temas.

Na mesma linha de pensamento, serão abordados os aspetos mais relevantes associados à criação, implementação e interpretação de modelos de maturidade, o seu propósito e a sua utilidade no âmbito da caracterização e qualificação do estado de situação de organizações, processos, práticas, entre outros.

A investigação sobre os temas foi realizada através da consulta de artigos e documentos científicos recolhidos em repositórios de dados certificados, recorrendo, paralelamente e sempre que necessário, a docentes e individualidades especializadas nas temáticas e nas áreas em análise.

2.1 Indústria 4.0 – A quarta revolução industrial.

"Industry 4.0 is the fourth industrial revolution applying the principles of cyber-physical systems, internet and future-oriented technologies and smart systems with enhanced human-machine interaction paradigms." (Sanders, Elangeswaran et al. 2016)

"In essence, Industry 4.0 will involve the technical integration of cyber-physical systems, CPS, into manufacturing and logistics and the use of the Internet of Things and Services in industrial processes. This will have implications for value creation, business models, downstream services and work organization."(Kagermann, Wahlster et al. 2013)

2.1.1 Um novo paradigma

As primeiras revoluções industriais surgiram como resultado da mecanização, eletrificação e informatização dos métodos produtivos. Os níveis de complexidade, automação e sustentabilidade associados aos processos de produção foram aumentando sucessivamente, desde a introdução de mecanismos movidos a água e vapor até à inclusão da componente elétrica e da automação digital industrial. (Qin, Liu et al. 2016)

A primeira revolução industrial correspondeu à introdução dos métodos de produção mecânicos proporcionados pela máquina a vapor, na segunda metade do século XVIII, tendo

aumentado significativamente os níveis de produtividade. Cerca de 100 anos depois, a inclusão da eletricidade e das politicas de divisão do trabalho levaram à segunda revolução industrial, provocando um aumento ainda mais significativo da eficiência produtiva, sendo o exemplo mais representativo a criação das linhas de produção "*Ford*" nos Estados Unidos da América. A terceira revolução industrial teve início na década de 1970, aquando da criação e introdução dos primeiros comandos eletrónicos programáveis e sistemas automatizados nas linhas produtivas e dos primeiros sistemas tecnológicos de informação, paradigma que permanece até aos dias de hoje (Drath e Horch 2014, Hermann, Pentek et al. 2016). As diferentes revoluções industriais encontram-se ilustradas na Figura 1.

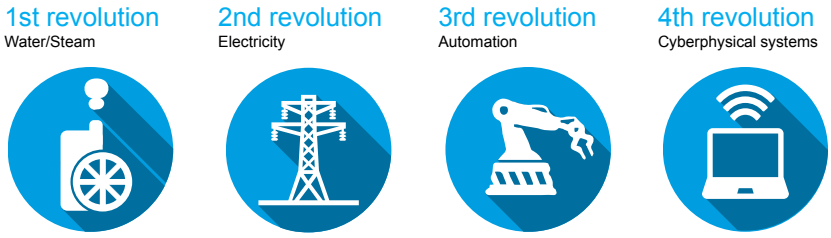


Figura 1 – As revoluções industriais (Fonte: McKinsey & Co.)

Em 2011, o termo "Indústria 4.0" (I4.0) ficou conhecido através de uma iniciativa governamental alemã, de igual nome, com o propósito de melhorar a competitividade da indústria alemã, sendo hoje associado à quarta revolução (Kagermann, Wahlster et al. 2013, Hermann, Pentek et al. 2016). Este termo é atualmente representativo de uma tentativa, a nível global, de alavancar o desenvolvimento de fábricas inteligentes, ou "*Smart Factories*" (SF), através de numa completa automatização e integração dos processos produtivos. Nestas novas células produtivas, os sistemas computorizados controlam e monitorizam todos os processos físicos envolvidos, cooperando e comunicando entre si e com a componente humana envolvida, de modo a descentralizar a tomada de decisão. Para tornar possível a aplicação desta nova filosofia industrial, uma multiplicidade de áreas relacionadas com a produção, segurança, sustentabilidade, comunicação com e entre máquinas, entre muitas outras, necessitam de reformular e redefinir os seus métodos de trabalho, como forma de proporcionar bases sólidas para a sua concretização (Grangel-Gonzalez, Halilaj et al. 2016, Stock e Seliger 2016).

A base deste novo paradigma compreende uma integração total da cadeia de valor, através de uma completa conexão e interação em rede de pessoas, máquinas e recursos. Conceitos como a "*Internet of Things"*, IoT, *"Cyber-physical Production Systems"*, CPPS, *"Smart Factories",* "*Smart Products*", SP, integração horizontal e vertical das empresas e uma filosofia de "*end-to-end engineering*" ao longo do ciclo de vida do produto constituem os pilares da nova revolução. Toda a produção será realizada por sistemas produtivos robotizados, flexíveis e inteligentes, sendo a interação homem-máquina realizada maioritariamente por intermédio de sistemas de informação e assente na realização de tarefas de planeamento e auxílio aos sistemas de produção, onde a capacidade de um robô na realização destas atividades é limitada e a intervenção humana inevitável (Kagermann, Wahlster et al. 2013, Stock e Seliger 2016).

Como resposta aos requisitos necessários para a implementação das mudanças associadas aos processos de produção e a toda a modificação dos panoramas fabril e industrial, conceitos como a "*Reference Architecture Model for Industry 4.0*", RAMI 4.0, ou a "*Administration Shell*", *AdminShell*, foram conceptualizados, como forma de proporcionar uma base para modelos de representação e interação digitais de toda a informação associada nos sistemas envolvidos (Grangel-Gonzalez, Halilaj et al. 2016).

Uma grande parte dos modelos de negócio em utilização nos dias de hoje terão de ser redefinidos de forma a suprir as necessidades da nova indústria. Atualmente, os modelos de negócio e as cadeias de produção são, na grande maioria, estáticos e não proporcionam uma visão global na perspetiva do produto produzido. Os recursos tecnológicos em utilização não permitem uma completa integração dos clientes na cadeia de valor, resultando numa comercialização de equipamentos não completamente adequados às necessidades, sendo, porém, tecnicamente possível a sua adequação. O modelo base almejado passa por uma completa integração de clientes e fornecedores naquilo que são os processos fulcrais da cadeia de valor, com vista à aplicação de uma filosofia "*end-to-end*" ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Este conceito compreende uma monitorização e registo de todas as etapas da vida dos equipamentos, desde a conceção até ao processo de fim de vida. A sua adoção possibilita fornecer uma melhor alternativa a um menor custo, proporcionada pela flexibilidade e pela digitalização dos fatores produtivos e pela constante comunicação com o fabricante, ao longo do período de atividade do equipamento (Kagermann, Wahlster et al. 2013, Hermann, Pentek et al. 2016, Stock e Seliger 2016).

A disseminação deste novo paradigma provocará uma redefinição dos modelos de negócio atualmente em uso. A utilização de algoritmos avançados na análise de dados e o recurso a aplicações e dispositivos móveis proporcionarão novas oportunidades de negócio no desenvolvimento de sistemas empresariais e alternativas tecnológicas (Kagermann, Wahlster et al. 2013). Por outro lado, a constante comunicação com produtos inteligentes comercializados possibilitará a criação de novos serviços de manutenção e melhoramento dos equipamentos, reformulando e reforçando a relação entre fabricante e cliente (Shrouf, Ordieres et al. 2014).

2.1.2 A Internet das Coisas

A"Internet das Coisas" – "*Internet of Things*" – constitui a premissa base para a concretização da quarta revolução industrial (Wan, Tang et al. 2016). Este termo está associado ao movimento de integração de tecnologias de informação e de comunicação nos equipamentos comuns utilizados no quotidiano das pessoas, que hoje abrange uma vasta gama de dispositivos e acessórios (Thames e Schaefer 2016).

Importância

De modo a cumprir os requisitos de comunicação necessários à concretização da visão da Indústria 4.0, a internet surge como o meio de suporte mais adequado para a realização das trocas de informação, em tempo real, entre os diferentes intervenientes (da Silva, Ohta et al. 2016), pois permite a interconexão sem fios ("*wireless*") de um grande número de dispositivos físicos e consequente integração dos mesmos com os processos e sistemas industriais (Zimmermann, Schmidt et al. 2015), como ilustrado na Figura 2.

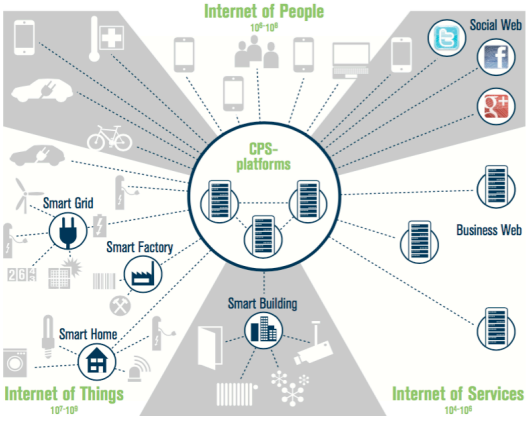


Figura 2 – Internet das coisas, pessoas e serviços (Fonte: (Kagermann, Wahlster et al. 2013))

Uma vez que é apropriada para o suporte de todas as novas alternativas e tecnologias de comunicação, detendo paralelamente uma capacidade única de recolha e transmissão de uma avultada quantidade de dados, associados a uma variedade de componentes e equipamentos, a internet torna possível a concentração da informação em bases de dados em nuvem, assegurando um fluxo e disponibilidade de dados constante e transversal a todas as áreas de negócio (Wan, Tang et al. 2016).

Conceitos similares, como a "*Internet of People*" e a "*Internet of Services*", são frequentemente encontrados na literatura, associados à utilização da internet por parte dos diferentes intervenientes (Kagermann, Wahlster et al. 2013).

Sistemas "cloud-based"

Como forma de proporcionar uma disponibilização de informação adequada e imediata, surge o conceito de sistema de nuvem, ou "*cloud service"*. Estes sistemas são responsáveis pela receção de dados de múltiplos dispositivos industriais e pessoais e pela execução de algoritmos diversos, com o objetivo de concretizar a gestão e resposta autónomas dos sistemas produtivos (da Silva, Ohta et al. 2016).

A noção de "*cloud-based manufacturing*" compreende uma arquitetura organizacional das sociedades industriais focada para os serviços, que passa pela integração do cliente no modelo de negócio e explora o acesso, em tempo real, a uma base de dados partilhada de recursos e processos. A "*cloud-based manufacturing*" tem como objetivo promover uma reprogramação imediata de linhas de produção e mecanismos ciber-físicos – abordados mais à frente – de modo a melhorar a eficiência e eficácia na alocação de recursos às variabilidades de procura dos consumidores (Thames e Schaefer 2016).

Segurança e fiabilidade das tecnologias de informação

O volume de informação gerado pelas interações a nível industrial detém um elevado valor comercial, sendo a garantia da segurança de todos os dados envolvidos um dos principais desafios enfrentados (Wan, Tang et al. 2016).

A IoT é caracterizada por uma elevada vulnerabilidade a ataques e acessos indevidos, uma vez que muitas das comunicações são realizadas por tecnologias *wireless* em dispositivos com baixas capacidades computacionais, resultando numa baixa capacidade de incorporação de sistemas de segurança com alguma complexidade, como, por exemplo, sistemas RFID (Atzori, Iera et al. 2010).

Neste contexto, as empresas e sistemas têm de ser capazes de garantir a segurança quanto a eventuais acessos não autorizados às suas redes de informação e comunicação e a sistemas produtivos, de modo a evitar danos económicos e a pessoas e equipamentos (Drath e Horch 2014).

2.1.3 Sistemas produtivos ciber-físicos

A par da IoT, os sistemas ciber-físicos constituem a segunda premissa para a concretização da quarta revolução industrial. Apresentado como um dos temas mais relevantes no desenvolvimento e evolução das ciências e tecnologias computacionais, os sistemas ciber-físicos são sistemas computacionais colaborativos e com capacidade de interação com processos físicos. Em articulação com a "Internet das Coisas" e com o desenvolvimento dos processos produtivos, a implementação destes sistemas nos centros produtivos industriais conduzirá à quarta revolução industrial (Monostori 2014).

Noção de sistema ciber-físico

No âmbito geral, a noção de sistema ciber-físico – "*cyber-physical system*" – é representativa da integração de um sistema computorizado com processos físicos. Estes sistemas

monitorizam e controlam os processos físicos, regra geral em *loop*, onde os processos afetam a parte computacional e vice versa (Lee 2010).

Estes sistemas adotam as características gerais anteriormente descritas e aplicam-nas aos ambientes industriais, criando o conceito de sistemas de produção ciber-físicos, ou "*cyber-physical production systems*", CPPS. Os CPPS consistem em mecanismos de produção autónomos e integrados, capazes de comunicarem entre si e com os sistemas de gestão de produção e planeamento, através de uma integração em rede (Monostori 2014), "cujas operações são monitorizadas, controladas, coordenadas e integradas por um núcleo computacional e comunicativo" (Monostori, Kádár et al. 2016).

Motivação de utilização

A incorporação destes sistemas produtivos tem como objetivo aumentar a flexibilidade e capacidade de resposta das instancias produtivas. O recurso a sensores e algoritmos inteligentes permite uma recolha, processamento e avaliação direta de uma vasta quantidade de dados. Diversos atuadores inerentes à utilização em processos físicos permitem uma reação em tempo real a mudanças súbitas no ambiente físico. A capacidade de comunicação digital com os restantes sistemas permite uma interação com outros CPPS, criando assim uma complexa rede automatizada de produção e uma conexão direta entre os mundos físico e digital. (Seitz e Nyhuis 2015)

Arquitetura 5C para CPPS

A introdução de sistemas CPPS na indústria encontra-se ainda na fase inicial. Deste modo, diversos trabalhos são realizados com o intuito de explorar estruturas e metodologias que possam servir como linhas de implementação destes sistemas (Lee, Bagheri et al. 2015).

Documentos científicos recentes propõem a criação de uma estrutura arquitetónica de cinco níveis, para ilustrar a metodologia a adotar nos sistemas de produção ciber-físicos, desde o momento da aquisição dos primeiros dados até à criação de valor (Monostori 2014). Segundo Lee, Bagheri et al. (2015), esta arquitetura é denominada de "5C" e é composta por cinco categorias distintas:

- *Smart Connection* – Capacidade de adquirir informação precisa e fiável de máquinas e componentes, recorrendo a sensores ou a sistemas de gestão;
- *Data Conversion* – Capacidade de interpretação e conversão dos dados relevantes adquiridos em informação passível de ser transmitida para outros sistemas em rede;
- *Cyber Level* – Apresentado como o foco central da arquitetura, sendo o centro de informações associado a esta estrutura. Sistemas analíticos de análise de dados serão aplicados, com o objetivo de obter uma melhor visão e caracterização do estado individual das máquinas, de realizar análises de auto comparação entre os equipamentos e de aplicar modelos de previsão aos sistemas cibernéticos autónomos;
- *Cognition Level* – Neste nível é realizada uma triagem da informação disponibilizada no nível anterior, fornecendo os elementos necessários à tomada de decisão, com o propósito de aferir a prioridade das ações a realizar no sistema;
- *Configuration Level* – Elo de ligação entre os espaços cibernético e físico, atuando como controlo de supervisão tornando os sistemas autoconfiguráveis e adaptativos, através da aplicação de medidas corretivas e preventivas identificadas pelo nível precedente.

A Figura 3 ilustra o aumento da importância e presença da parte cibernética com o aumento dos níveis arquitetónicos, sendo pouco relevante ao nível da conexão e de elevada importância nas categorias de cognição e configuração.

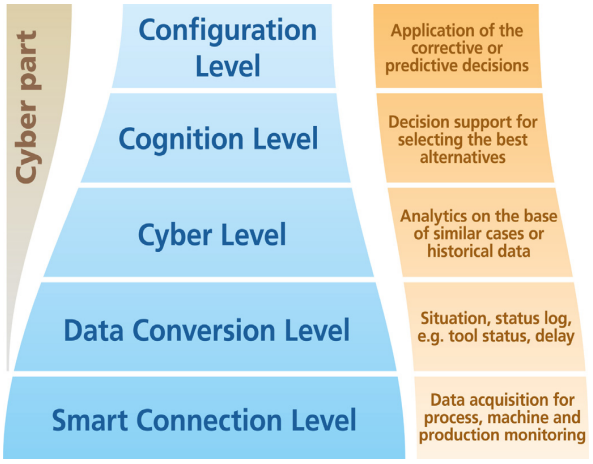


Figura 3 – Arquitetura 5C (Fonte: (Monostori, Kádár et al. 2016))

Planeamento, controlo e manutenção

Com a adoção de CPSS, um novo paradigma de planeamento e controlo dos processos produtivos é introduzido. Até ao momento, em grande parte das indústrias o controlo produtivo é efetuado com recurso a folhas de papel ou em plataformas "*Manufacturing Execution System"*, MES. A digitalização e a intercomunicação em rede destes novos sistemas proporciona uma alternativa de controlo digital e uma capacidade de introdução de suportes automatizados de planeamento e controlo de processos e recursos (Prinz, Morlock et al. 2016).

A monotorização e a recolha de dados em tempo real, proporcionada pelos sensores constituintes destes mecanismos, a incorporação de algoritmos de análise e interpretação dos mesmos e a alta versatilidade e autonomia dos sistemas ciber-físicos permitem a introdução dos conceitos de auto manutenção e manutenção proativa. Os diagnósticos podem ser efetuados autonomamente pelos equipamentos, bem como determinadas operações de reparação. As atividades de manutenção serão comunicadas e solicitadas pelos próprios equipamentos, através da interpretação das informações por parte dos algoritmos de previsão (Shrouf, Ordieres et al. 2014, Monostori, Kádár et al. 2016).

A implementação dos sistemas de produção ciber-físicos apresenta uma grande vantagem para as sociedades industriais, na medida em que garante uma solução com tempos não produtivos quase nulos, paralelamente com uma melhoria contínua da gestão de planeamento, manutenção, inventário e recursos fabris (Lee, Bagheri et al. 2015).

Segurança e fiabilidade dos CPPS

Semelhante ao verificado na IoT, a problemática da segurança associada aos sistemas CPPS é também uma das principais questões a garantir aquando da transformação para a indústria 4.0, uma vez que é critica para o sucesso das políticas de produção com recurso a sistemas inteligentes (Kagermann, Wahlster et al. 2013).

Com a adoção das filosofias de integração inerentes ao processo de revolução, as empresas passarão a estar conectadas não apenas a nível da gestão, mas também ao nível das células e etapas de fabrico, podendo o controlo das próprias máquinas produtivas estar disponível através de um acesso remoto (Leyh, Bley et al. 2016).

Esta temática tem estado em foco em diversas discussões na comunidade cientifica, com o propósito de explorar as questões inerentes à criação de protocolos e métodos que permitam garantir a integridade dos sistemas e impedir o acesso de entidades não autorizadas às redes e plataformas de controlo (Shi 2014, Leyh, Bley et al. 2016).

Melhoramento de equipamentos atuais para Indústria 4.0

O conceito de "*retrofitting*" compreende uma modernização, ou melhoramento, de equipamentos atuais visando dotar os mesmos de tecnologia compatível com os pressupostos da Indústria 4.0. A incorporação de sensores e atuadores tecnologicamente avançados, paralelamente com novos controladores lógicos, permite ultrapassar as dificuldades associadas à heterogeneidade, idade e diversidade de equipamentos associados aos processos produtivos (Stock e Seliger 2016).

X. Xu expõe, num artigo de 2017, novos conceitos como "*Machine Tool 4.0*", MT4.0, e "*Cyber-Physical Machine Tool*", CPMT, ou "máquina-ferramenta ciber-física". "*Machine Tool 4.0*" define uma nova classe de máquinas-ferramenta, do tipo CPPS, representativa de uma alternativa inteligente, conectada, remotamente acessível, flexível e autónoma, que permite uma integração vertical e horizontal destes equipamentos produtivos, deixando de existir como sistemas isolados de fabrico e estando perfeitamente integrados. Surge assim a designação de "*Cyber-Physical Machine Tool*" (Xu 2017).

Tipicamente, os equipamentos em utilização na maioria das fábricas detêm uma vida útil média de cerca de vinte anos, relevando-se como um indicador da incapacidade de incorporação de grande parte dos sistemas atuais de fabrico no âmbito da quarta revolução industrial. O "*retrofitting*" de equipamentos pode ser utilizado como um meio para a criação de um sistema ciber-físico, através do melhoramento dos módulos de criação de valor existentes em fábrica (Stock e Seliger 2016).

Esta opção é particularmente adequada para pequenas e médias empresas, uma vez que é apresentada como uma alternativa acessível e de relativamente baixo custo, quando comparada com os montantes inerentes à aquisição de novos sistemas produtivos (Stock e Seliger 2016).

Através da aplicação de um "*retrofit*" a equipamentos como máquinas-ferramenta será possível a criação de sistemas de produção ciber-físicos atuais, sem recurso a investimentos avultados em novos sistemas produtivos. Um reaproveitamento das soluções atualmente existentes poderá ser levado a cabo, com o intuito de promover uma adaptação das instalações fabris ao novo paradigma produtivo e organizativo.

2.1.4 Fábricas e produtos inteligentes

As fábricas inteligentes – "*Smart Factories*" – e os produtos inteligentes – "*Smart Products*" – constituem um outro princípio chave para a I4.0, resultante da introdução da "Internet das Coisas", sistemas ciber-físicos e novos métodos de gestão e operação na indústria (Kagermann, Wahlster et al. 2013, Shrouf, Ordieres et al. 2014, Stock e Seliger 2016).

Noção de fábrica inteligente

Num um artigo de 2015, Haddara e Elragal expõem que as primeiras referências ao conceito de fábrica inteligente, ou fábrica do futuro, remontam à década de 1980, sendo caracterizada como uma "máquina inteligente de grande escala, a operar com uma altamente integrada e organizada base de conhecimento", paralelamente com uma ideia de agregação de clientes e fornecedores no ambiente fabril (Haddara e Elragal 2015).

As fábricas inteligentes são capazes de lidar com a elevada complexidade da integração dos fatores produtivos, são menos propensas a interrupções e são capazes de fabricar bens de

forma mais eficiente. Pessoas, máquinas e recursos comunicam entre si com base num princípio de rede social (Kagermann, Wahlster et al. 2013). As fábricas inteligentes são caracterizadas como sendo ambientes de produção ciber-físico, integrando objetos físicos, como máquinas, transportes e produtos, com sistemas de informação através da IoT e sistemas "*cloud-based*", de modo a implementar e atingir níveis elevados de agilidade e flexibilidade (Wang, Wan et al. 2016).

A implementação de fábricas inteligentes assenta numa interação entre os sistemas inteligentes intervenientes ("*Smart Objects*", SO), onde se incluem os CPPS e os "*Smart Products*", e a capacidade de análise de grandes quantidades de dados ("*Big Data Analysis*", BDA), via "*cloud*". Os SO possuem habilidades de comunicação e reconfiguração dinâmicas para alcançarem elevados níveis de flexibilidade e eficiência, enquanto a BDA proporciona um *feedback*, controlo e coordenação globais de todos os recursos disponíveis. A correta interação destes dois conceitos visa o cumprimento dos requisitos de adaptabilidade compatíveis com as políticas e necessidades de customização em massa inerentes à quarta revolução industrial (Kagermann, Wahlster et al. 2013, Wang, Wan et al. 2016).

Noção de produto inteligente

"*Smart products*" são produtos capazes de realizar operações computacionais, armazenamento de dados, comunicação e interações com o meio envolvente. São dotados de capacidade de acesso à internet, visando a transmissão de informações relativas ao seus ciclos de vida (Schmidt, Möhring et al. 2015).

Desde o momento da sua conceção, os produtos inteligentes são responsáveis por todos os detalhes relativos à sua produção, bem como pelas especificações de utilização e da interação com as plataformas logísticas ("*Smart Logistics*") e de mobilidade ("*Smart Mobility*") (Kagermann, Wahlster et al. 2013). A habilidade de processamento de dados recolhidos por sensores e a capacidade de conexão com os sistemas de informação permite uma monitorização permanente das atividades. Todos os processos, desde as fases de conceção e desenvolvimento, aquisição de matéria prima e fabrico até à respetiva utilização e fase de fim de vida útil, são registados (Schmidt, Möhring et al. 2015).

Devido às elevadas capacidades computacionais e de comunicação e interação com outros sistemas, estes equipamentos detêm a capacidade de definir e prever atividades e etapas futuras. Através da integração de algoritmos avançados adaptativos de previsão, paralelamente com as capacidades de análise e transmissão de informação, são capazes de prever, por exemplo, operações de manutenção futuras (Schmidt, Möhring et al. 2015). A interpretação destas informações por parte dos fabricantes permite uma análise específica da utilização e do comportamento da máquina relativa a cada cliente. Deste modo, poderão ser proporcionados melhores serviços de manutenção e elaboradas propostas de melhoria dos equipamentos, construindo assim uma melhor relação com o cliente (Shrouf, Ordieres et al. 2014).

Características das fábricas inteligentes

As fábricas inteligentes proporcionam aos clientes alternativas de produção e produtos inteligentes com capacidade de conexão, de comunicação e de transmissão de informação através da internet. As empresas recolhem e analisam os dados provenientes dos produtos, de forma a definirem precisamente as necessidades e comportamentos dos clientes, para uma disponibilização das melhores alternativas de produtos e serviços (Shrouf, Ordieres et al. 2014).

Relativamente às principais características almejadas para o conceito de "*Smart Factory*", encontradas nos principais artigos científicos associados à Indústria 4.0, podem ser destacadas as seguintes (Kagermann, Wahlster et al. 2013, Shrouf, Ordieres et al. 2014, Stock e Seliger 2016):

- **Customização em massa**: De forma a proporcionar a melhor alternativa de produto que vá de encontro às diversas necessidades dos clientes, as organizações terão de ser capazes de produzir em quantidades reduzidas e de acordo com as especificidades de cada consumidor, mantendo-se igualmente lucrativas.
- **Flexibilidade**: Com o recurso a CPPS e a sistemas de informação avançados, as fábricas serão capazes de oferecer uma alternativa produtiva altamente flexível para dar resposta às variadas necessidades de produção. A autoconfiguração dos sistemas produtivos é um aspeto crucial para alcançar a melhor combinação possível entre tempo, qualidade e preço.
- **Descentralização da tomada de decisão**: A introdução da IoT no meio industrial proporcionará uma transparência da informação, em tempo real, associada aos fatores de produção. Através da disponibilidade imediata e precisa dos dados e do auxílio fornecido pelos sistemas tecnológicos, a tomada de decisão será facilitada e melhorada, podendo ser tomada quer pelo trabalhador quer pelo próprio sistema automatizado.
- **Novos métodos de planeamento**: A alocação de recursos e a respetiva produtividade associadas aos métodos de planeamento será aperfeiçoada através da reação, em tempo real, dos sistemas e processos produtivos integrados às exigências de produção e respetivos requisitos de trabalho.
- **Manutenção proativa**: A manutenção associada aos sistemas produtivos evoluirá para um paradigma proativo, onde a recolha de dados instantâneos servirá para desencadear processos autónomos de manutenção dos sistemas, aumentando os níveis de desempenho e diminuindo os custos associados.
- **Métodos de fabrico aditivo**: Com a descida de custos verificada nos últimos anos, a inclusão de métodos de fabrico aditivo nas cadeias de valor das fábricas inteligentes será inevitável, uma vez que permitirá um fabrico mais eficiente, flexível e em grande escala de componentes com geometrias complexas.
- **Redefinição do papel humano**: O número de trabalhadores diretamente associados aos processos produtivos será menor, sendo a presença humana preponderante nas funções de planeamento estratégico e monitorização. Os trabalhos associados às etapas de fabrico requererão uma elevada qualificação dos colaboradores.
- **Novas oportunidades de negócio e serviços**: A utilização de algoritmos avançados na análise de dados e o recurso a aplicações e dispositivos móveis proporcionarão novas oportunidades de negócio no desenvolvimento de sistemas empresariais e alternativas tecnológicas. Por outro lado, a constante comunicação com o produto comercializado possibilitará a criação de novos serviços de manutenção e melhoramento do produto, reformulando a relação entre fabricante e cliente.

Sustentabilidade das fabricas inteligentes

A par das vantagens produtivas, o paradigma de fábrica inteligente compreende uma melhoria das questões de sustentabilidade económica, social e ambiental, associadas à atividade industrial da Indústria 4.0 (Stock e Seliger 2016).

As melhorias associadas aos processos produtivos levarão a uma redefinição dos modelos de negócio das sociedades industriais, acentuando a relevância da persecução por soluções de

produção económicas e sustentáveis. O recurso a métodos automatizados de gestão e planeamento permitirá uma correta e mais eficiente alocação de recursos, como energia e água, ao longo da cadeia de valor, diminuindo desperdícios. Em termos organizacionais, a descentralização da tomada de decisão permitirá, por exemplo, o melhoramento dos sistemas produtivos e logísticos, tornando as cadeias de valor sucessivamente mais sustentáveis (Kagermann, Wahlster et al. 2013, Shi 2014, Stock e Seliger 2016).

No que toca ao fator social, a realização da quarta revolução industrial compreenderá uma resposta aos problemas relacionados com a mudança demográfica atual. Com o aumento da interação entre humanos e máquinas, as empresas serão capazes de utilizar a mudança demográfica em seu proveito. Através da deslocação da atividade humana para áreas mais conceptuais e de estratégia, a Indústria 4.0 disponibilizará uma flexibilidade a nível das carreiras e a possibilidade de trabalho até uma idade mais avançada. Por outro lado, a capacidade de reprogramação dos sistemas produtivos poderá ser utilizada para alcançar um equilíbrio adequado entre a vida profissional e pessoal e ainda dar resposta às necessidades particulares e imprevistos associados a cada colaborador (Kagermann, Wahlster et al. 2013).

2.1.5 A interação humana na Indústria 4.0

Ao longo das consecutivas revoluções industriais, a interação humana nos processos produtivos tem sido sucessivamente alterada. A Indústria 4.0 difere na abordagem aos sistemas de produção computorizados dos anos 1980 no que respeita ao papel humano no ambiente produtivo (Prinz, Morlock et al. 2016).

Características

A implementação dos novos métodos produtivos compreende uma mudança nas tarefas e nos requisitos associados à presença humana em fábrica, passando a interação com os sistemas de produção CPPS a ser feita através de uma manipulação direta, em termos de manutenção, ou com recurso a interfaces tecnológicas de utilização (Gorecky, Schmitt et al. 2014).

Tendo em conta as transformações proporcionadas pela quarta revolução industrial, a atividade humana passa de uma perspetiva de operação das máquinas produtivas para um papel mais conceptual e de tomada de decisão estratégica e flexível, no âmbito da resolução de problemas associados aos processos e sistemas em funcionamento (Hermann, Pentek et al. 2016).

A principal função dos trabalhadores no modelo de fábrica inteligente está direcionada para o estabelecimento de estratégias de produção e supervisão da sua implementação nos sistemas e processos produtivos automatizados (Gorecky, Schmitt et al. 2014).

Novos níveis de competências

Dado o volume de informação gerado pela integração dos processos e equipamentos, os trabalhadores terão de possuir qualificações específicas para lidar, por exemplo, com a complexidade inerente à avultada quantidade de dados e com os próprios métodos produtivos. Tanto ao nível do planeamento e controlo de produção como do chão de fábrica, novas competências serão necessárias para a realização das atividades relacionadas com os processos e sistemas CPPS, passando por (Prinz, Morlock et al. 2016):

- Capacidade de lidar com avultadas quantidades de dados em tempo real;
- Capacidade de utilizar novos métodos e tecnologias essenciais à Indústria 4.0;
- Estar familiarizados com as novas formas e métodos organizacionais das empresas e mentalizados para as novas funções humanas nas fábricas inteligentes.

Plataformas de interação com CPPS

A integração de diversos sistemas e mecanismos da cadeia de valor resulta numa elevada quantidade de dados digitais provenientes de diferentes fontes, possivelmente em diferentes formatos, que necessitam de ser interpretados e disponibilizados corretamente, e de forma eficiente, ao utilizador humano (Gorecky, Schmitt et al. 2014).

Como forma de interação com os sistemas mecanizados, surge a ideia de representação do mundo ciber-físico através de uma plataforma de utilização para a componente humana. Este mecanismo proporciona a assistência necessária ao processo de decisão, através de uma apresentação ergonómica de toda a informação gerada e de um design "*human-centered*" específico e focado para uma utilização intuitiva. A ergonomia da informação compreende uma análise, organização e representação metódicas de todos os dados técnicos recolhidos, enquanto o design abrange as características de interatividade e usabilidade da plataforma, direcionadas para o utilizador humano (Nelles, Kuz et al. 2016).

O suporte tecnológico apropriado à interação entre humano e máquina, e a correta implementação de estratégias de qualificação de trabalhadores, garantirá a realização de todo o potencial associado aos papéis de tomada de decisão estratégica e flexível na resolução de problemas associados à componente cibernética da I4.0 (Gorecky, Schmitt et al. 2014).

2.1.6 Modelo Arquitetónico de Referência "Industrie 4.0"

Proposto em 2015, através de uma parceria entre Bitkom, VDMA e ZVEI, o Modelo Arquitetónico de Referência "Industrie 4.0" – "*Reference Architecture Model Industrie 4.0"* (RAMI 4.0) – surge como uma representação tridimensional *standard* que permite uma clarificação dos aspetos fundamentais associados ao conceito de Indústria 4.0, ilustrada na Figura 4 (Grangel-Gonzalez, Halilaj et al. 2016, Zezulka, Marcon et al. 2016).

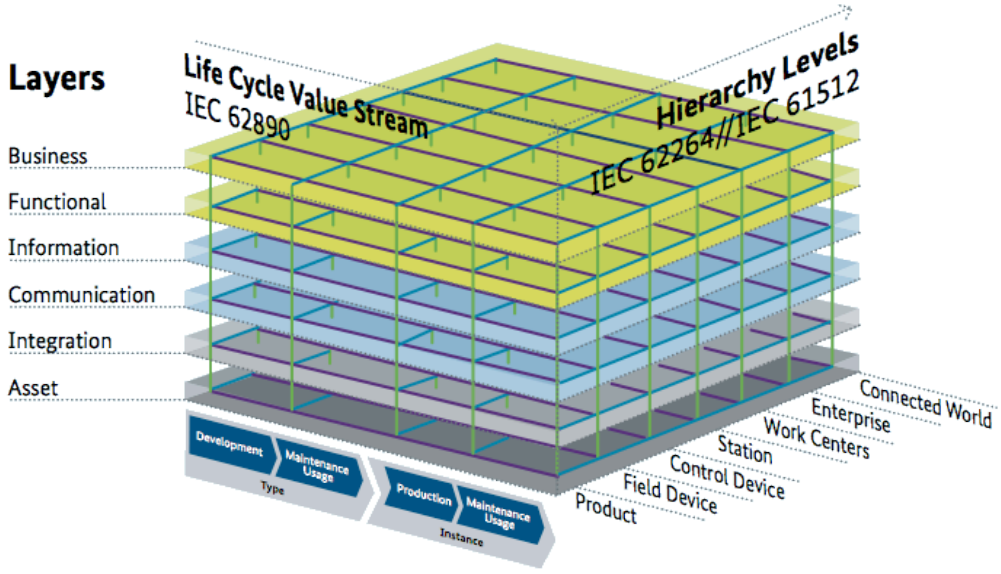


Figura 4 – RAMI 4.0 (Fonte: *Plattform Industrie 4.0*)

Este modelo é ilustrativo das conexões inerentes aos princípios da quarta revolução industrial no domínio das células produtivas, dos sistemas de informação e do ciclo de vida e cadeia de valor do produto, num espaço a três dimensões. Cada dimensão clarifica as partes particulares dos respetivos domínios, repartindo-os por níveis hierárquicos ("Hierarchy Levels"), camadas ("Layers") e etapas ("Life cycle & Value Stream"). A criação deste modelo corresponde a uma tentativa de traduzir, num sistema tridimensional, as complexas relações existentes na Indústria 4.0, através de uma decomposição em diferentes "*clusters*", mais simples e

facilmente interpretáveis (Flatt, Schriegel et al. 2016, Grangel-Gonzalez, Halilaj et al. 2016, Zezulka, Marcon et al. 2016).

A conceção e idealização do modelo RAMI 4.0, e conceitos derivados, tem como objetivo a criação de uma base comum e standard para investigação e discussão internacional das problemáticas relacionas com a Indústria 4.0 (Flatt, Schriegel et al. 2016).

Representação tridimensional

Os "níveis hierárquicos", representados no eixo horizontal direito da Figura 4 são referentes à integração dos sistemas de controlo empresariais, definidos pelas normas IEC 62264 e 61512, e representam os diferentes elementos dentro das células produtivas. No entanto, estas normas apenas consideram uma instalação industrial, sendo necessária a adição da vertente "*Connected World*" para ilustrar completamente o panorama global I4.0 (Flatt, Schriegel et al. 2016, Zezulka, Marcon et al. 2016).

O "ciclo de vida e cadeia de valor", representado no eixo horizontal esquerdo da Figura 4, ilustra as etapas do ciclo de vida dos produtos e instalações, correspondentes à norma IEC 62890, e compreendem uma constante comunicação e aquisição de dados durante este período (Flatt, Schriegel et al. 2016, Zezulka, Marcon et al. 2016).

As seis "camadas" verticais representam a perspetiva das tecnologias de informação, compreendendo uma multiplicidade de níveis desde o equipamento físico até às componentes complexas de sistemas ERP (Grangel-Gonzalez, Halilaj et al. 2016).

Noção de "Componente I4.0"

O RAMI 4.0 introduz a noção de "Componente I4.0" – "*Industry 4.0 Component*", sendo um conceito teórico constituído por um objeto real em ambiente industrial, particularmente um sistema ciber-físico, e a sua conectividade com processos e objetos virtuais (Grangel-Gonzalez, Halilaj et al. 2016). Um componente I4.0 pode ser representativo de um sistema produtivo, de uma máquina ou de um processo dentro de um equipamento. Este conceito compreende dois elementos fundamentais: a existência de um objeto e da sua camada de administração ("*Administration Shell*"), como demonstrado na Figura 5 (Flatt, Schriegel et al. 2016, Grangel-Gonzalez, Halilaj et al. 2016).

O termo "objeto" é referente a uma entidade individual presente no ambiente industrial, podendo representar um equipamento, um sistema automatizado ou até uma plataforma virtual, ou software, no contexto da Indústria 4.0. A cada objeto é atribuída uma camada de administração, que é responsável pela representação virtual do objeto na camada de informação do modelo RAMI 4.0, e que tem como função o armazenamento de todos os dados relevantes do objeto e a sua representação e disponibilização em ambientes virtuais e "*cloud*", bem como dos respetivos métodos de comunicação e transmissão de informação compatíveis com a integração de todos os sistemas e equipamentos (Flatt, Schriegel et al. 2016, Grangel-Gonzalez, Halilaj et al. 2016, Zezulka, Marcon et al. 2016).

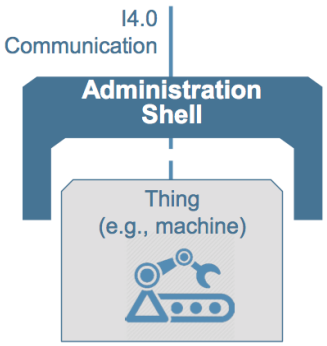


Figura 5 – Objeto e camada de administração (Fonte: *Platform Industrie 4.0*)

2.2 Modelos de Maturidade

A criação de valor é um conceito fundamental para a implementação de certas e determinadas tomadas de decisão. A capacidade de uma empresa em criar valor depende da sua competência no desenvolvimento de estratégias que permitam tirar proveito das oportunidades existentes no mercado, explorando os seus recursos e capacidades internas (Tonelli, Demartini et al. 2016).

Graças à Indústria 4.0, as tecnologias de informação e comunicação e a digitalização e integração de processos representam aspetos fundamentais na análise, avaliação e melhoria dos processos internos de criação de riqueza (Schumacher, Erol et al. 2016, Tonelli, Demartini et al. 2016).

De forma a superar a crescente incerteza das empresas relativamente à Indústria 4.0, novos métodos e ferramentas são necessários para fornecer uma classificação, orientação e apoio na redefinição de estratégias de negócios, operações e ações de inovação (Leyh, Bley et al. 2016, Schumacher, Erol et al. 2016).

2.2.1 Noção

Os "modelos de maturidade" são instrumentos úteis para a avaliação de processos e níveis gerais de desenvolvimento de uma organização (Albliwi, Antony et al. 2014). A definição de "maturidade" está associada a um "estado presente completo, perfeito ou pronto", num dado momento, durante um progresso ou desenvolvimento de uma dada atividade ou sistema (Schumacher, Erol et al. 2016).

A origem destes modelos remonta à indústria de software da década de setenta, de onde evoluíram para importantes ferramentas de avaliação, hoje utilizadas para descrever e caracterizar o desfasamento entre as situações atual e os objetivos almejados para organizações ou processos, de forma a promover um "*roadmap*" de melhorias e um controlo dos respetivos processos de implementação (Röglinger, Pöppelbuß et al. 2012, Albliwi, Antony et al. 2014). Apresentam um caminho simplificado e concreto, composto por um número limitado de "níveis de maturidade" (tipicamente cinco), ordenados sequencialmente e caracterizados por certos e determinados requisitos a serem cumpridos para a sua atribuição (Pigosso, Rozenfeld et al. 2013).

Como sinónimo de "modelo de maturidade" encontramos os "modelos de prontidão". Estes últimos, foram concebidos com o objetivo de identificar corretamente o ponto de partida para o inicio dos processos de melhoria. A diferença entre "prontidão" e "maturidade" encontra-se no facto de que a avaliação de "prontidão" é levada a cabo antes do desencadear dos processos de melhoria, fazendo uma clarificação objetiva do estado de partida dos trabalhos, enquanto a avaliação de "maturidade" visa um controlo e caracterização continuas durante o decurso dos procedimentos de melhoria (Schumacher, Erol et al. 2016).

A utilização de modelos de "maturidade" e de "prontidão" é importante para a avaliação de processos e organizações aquando da promoção de medidas de melhoria, uma vez que permitem uma caracterização concreta do estado presente e uma elucidação e fundamentação acerca do caminho a percorrer de modo a atingir as metas almejadas (Albliwi, Antony et al. 2014).

2.2.2 Aplicação

Os modelos de "maturidade" e "prontidão" são usados como um instrumentos de classificação e mensuração do grau de maturidade de uma organização ou processo, em relação a um objetivo ou estado específico pretendido (Schumacher, Erol et al. 2016).

A sua aplicação encontra-se difundida por diversas áreas de atividade, desde as ciências cognitivas até às áreas de negócio e engenharia. A titulo de exemplo, modelos como o "*Capability Maturity Model Integration*", CMMI, e o "*Organizational Project Management Maturity Model*", OPM3, são frequentemente utilizados nas áreas de negócio (Pigosso, Rozenfeld et al. 2013).

Segundo Schumacher, Erol et al. (2016), no domínio da produção foram recentemente propostos alguns modelos de "prontidão" e "maturidade", nomeadamente na gestão da energia e nos serviços públicos (Ngai, Chau et al. 2013), na produção de design ecológico (Pigosso, Rozenfeld et al. 2013) ou na produção *Lean* (Maasouman e Demirli 2015).

Vantagens

A utilização destes modelos provou ser valiosa aquando da necessidade de mensuração e clarificação dos diferentes aspetos inerentes a um processo ou organização (Proença e Borbinha 2016).

Uma das vantagens da aplicação destes modelos é uma caracterização concreta da situação atual da empresa, sem o recurso a entidades e consultores externos. Esta ferramenta serve para ajudar as organizações na avaliação dos pontos fortes e fracos inerentes aos seus processos de negócio. Através da definição de diversos níveis, e respetivos requisitos, proporciona um roteiro para a implementação de melhorias e avalia a organização através de uma comparação com os padrões e políticas de outras organizações (Albliwi, Antony et al. 2014).

Por outro lado, de forma a fundamentar e apoiar ações de mudança no âmbito empresarial, a aplicação destes modelos revela-se pertinente para incutir, nas chefias e colaboradores, uma perceção correta e concisa da situação atual da empresa, das necessidades de melhoria, e das etapas a cumprir para atingir um determinado objetivo (Pigosso, Rozenfeld et al. 2013).

Desvantagens

Apesar de representarem uma forma útil para uma empresa avaliar os seus processos e os seus níveis de maturidade organizacionais, existem algumas dificuldades aquando da sua utilização. A escolha do modelo de maturidade mais adequado para aplicação numa dada organização não é tarefa fácil, particularmente para os profissionais da indústria, sendo apresentada como o aspeto mais dificultador de utilização (Albliwi, Antony et al. 2014).

2.2.3 Modelos de Maturidade para Indústria 4.0

No âmbito particular dos modelos de maturidade e prontidão para a Indústria 4.0, num artigo de 2016, os autores Andreas Schumacher, Selim Erol e Wilfried Sihna efetuam um levantamento dos modelos existentes para caracterização do estado atual das empresas, nas vertentes associadas à quarta revolução industrial.

"No que diz respeito à Quarta Revolução Industrial, entendemos a maturidade de uma empresa industrial como o estado de avanço das condições internas e externas que suportam os conceitos básicos da indústria 4.0, tais como a integração vertical e horizontal dos sistemas de produção e das empresas, bem como a integração digital da engenharia em toda a cadeia de valor" (Schumacher, Erol et al. 2016)

Os modelos analisados, e as respetivas características elencadas pelos autores, encontram-se listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos de maturidade e prontidão (Fonte: (Schumacher, Erol et al. 2016))

Nome do modelo	Instituição / Fonte	Abordagem de Avaliação
IMPULS – Industrie 4.0 Readiness (2015)	VDMA, RWTH Aachen, IW Consult.	• Avaliação em 6 dimensões, incluindo 18 itens para indicar o nível de prontidão entre 5 níveis; • As barreiras para avançar para a próxima etapa são definidas, bem como aconselhamento sobre como superá-las.
Empowered and Implementation Strategy for Industry 4.0 (2016)	*G. Lanza, P. Nyhuis, S. M. Ansari, T. Kuprat, and C. Liebrecht, "Befähigungs- und Einführungsstrategien für Industrie 4.0," Karlsruhe / Hannover, 01-02/2016* (Schumacher, Erol et al. 2016)	• Avaliação da maturidade da Indústria 4.0 através de uma verificação rápida como parte de um modelo de processo para a sua realização; • Análise de lacunas e ferramentas para superar as barreiras de maturidade; • Nenhum detalhe oferecido sobre itens e processo de desenvolvimento.
Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment (2016)	PricewaterhouseCoopers	• Autoavaliação *online* a 7 dimensões; • Foco em maturidade digital a 4 níveis; • Nenhum detalhe oferecido sobre itens e processo de desenvolvimento.
The Connected Enterprise Maturity Model (2014)	Rockwell Automation	• Modelo de maturidade como parte de uma abordagem de cinco estágios para a realização da Indústria 4.0; • Avaliação tecnológica focada em 4 dimensões; • Nenhum detalhe oferecido sobre itens e processo de desenvolvimento.
I 4.0 Reifegradmodell (2015)	FH – Oberösterreich	• Avaliação da maturidade em 3 dimensões, incluindo 13 itens para indicação de maturidade; • A maturidade é avaliada em 10 níveis; • Nenhum detalhe oferecido sobre itens e processo de desenvolvimento.

Segundo Schumacher, Erol et al. (2016), o modelo de prontidão denominado "*IMPULS – Industrie 4.0 Readiness*" da Tabela 1 é baseado num conjunto de dados abrangente e os respetivos detalhes sobre as dimensões, itens e abordagem são disponibilizados. Este modelo é bem fundamentado e a sua estrutura e os seus resultados são explicados de forma transparente. As outras abordagens listadas oferecem menos detalhes sobre o processo de desenvolvimento, estrutura e metodologia de avaliação e, portanto, nenhuma base de comparação detalhada. Outros modelos encontrados não oferecem detalhes sobre a sua estrutura e conteúdo, não estando, assim, listados (Schumacher, Erol et al. 2016).

3 Avaliação da situação atual da organização

No presente capitulo é descrito o *status quo* da organização, aquando da realização do projeto de dissertação. Com base nos pressupostos, de cariz teórico, elencados no capítulo precedente, é efetuada a avaliação do estado atual da empresa.

A análise efetuada teve como foco inicial um ponto de vista global das práticas e procedimentos associados à atividade de criação de valor da Adira. Elementos tais como o grau de digitalização de procedimentos, os canais de comunicação e as tecnologias de informação vigentes, entre outros, serviram como indicadores de avaliação, provenientes da aplicação de modelos de maturidade adequados e compatíveis com as problemáticas da Indústria 4.0.

Nesta fase foi efetuado um levantamento das etapas e atividades produtivas associadas ao fabrico das estruturas metálicas necessárias aos produtos comercializados pela empresa e foi ainda realizada uma análise ao grau de modernização e compatibilidade dos procedimentos atuais com as problemáticas inerentes ao tema do projeto.

A constatação e a caracterização do estado presente dos processos e políticas de trabalho da instituição serve como base de suporte para as melhorias descritas no quarto capítulo e às sugestões para trabalho e atividades futuras do capítulo cinco do presente documento.

3.1 Panorama atual da organização

A realização de um projeto para implementação de uma estrutura organizacional e de métodos e procedimentos de trabalho compatíveis com a Indústria 4.0, torna pertinente a realização de um levantamento correto dos processos globais da organização e das interações, e respetivos métodos de comunicação e de troca de informação, entre os diferentes *stakeholders* da empresa.

Devido ao elevado grau de digitalização requerido, transversal a todas as atividades, a par dos procedimentos associados à maquinagem dos componentes metálicos integrantes dos produtos, foi efetuado um levantamento geral dos procedimentos de criação de valor da empresa.

A não realização deste levantamento colocaria em dúvida a adequação das soluções propostas à realidade da empresa, e os respetivos fundamentos intrínsecos às sugestões e aos requisitos de melhoria.

3.1.1 Estrutura organizacional da Adira

Como ponto inicial do trabalho, apresentam-se os diferentes intervenientes no processo de criação de valor da Adira.

A estrutura organizacional funcional da empresa encontra-se ilustrada no organograma simplificado presente na Figura 6, tendo sido desenvolvido em coordenação com os responsáveis da empresa.

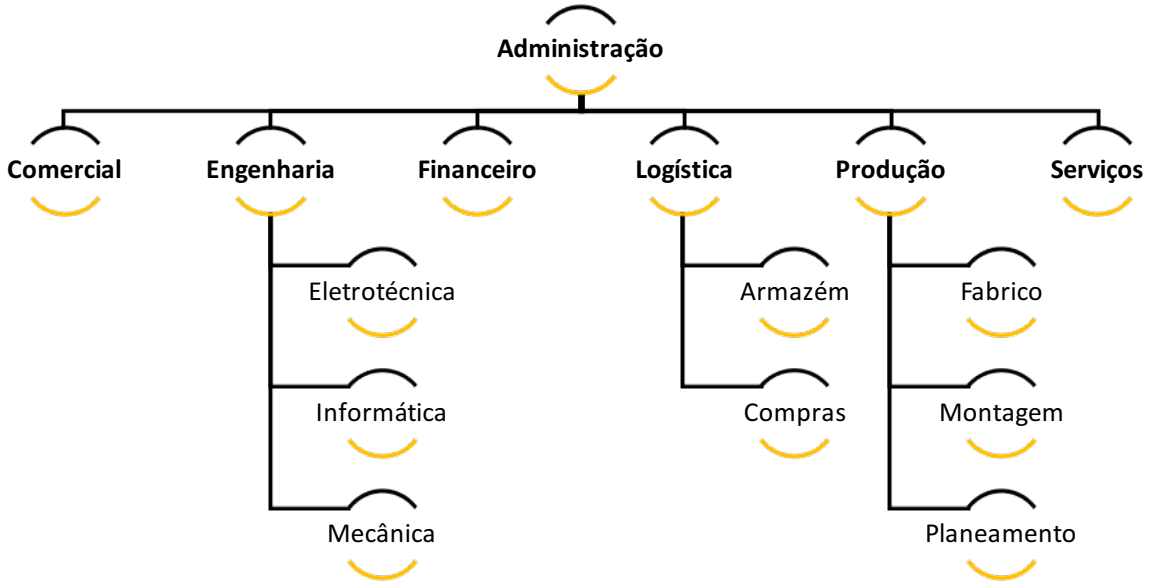


Figura 6 – Organograma da empresa

No nível superior encontramos a Administração da Adira, à qual são incutidas as funções mais relevantes de gestão estratégica, de representação e de responsabilização relacionadas com a atividade da empresa.

Imediatamente abaixo encontramos os diferentes departamentos. Cada departamento detém um responsável, ao qual estão incutidas todas as responsabilidades pelas tarefas desempenhadas pelos respetivos colaboradores.

Devido às diversas funções inerentes aos departamentos de Engenharia, Logística e Produção, verificamos ainda uma divisão interna de colaboradores, como forma de proporcionar uma gestão e repartição de trabalho mais eficientes.

3.1.2 Sistemas de Informação

O paradigma dos sistemas de informação e de comunicação abrange todo um leque de tecnologias e sistemas capazes de transmitir, receber e armazenar sinais eletronicamente.

A permanente atualização e inovação destes sistemas é apresentada como um dos principais fatores para o sucesso das organizações contemporâneas. A utilização de ferramentas de gestão de informação, de comunicação, de recursos, de modelação de processos e de auxílio ao planeamento operacional é um dos pilares de suporte à implementação de uma política no horizonte da Industria 4.0.

Deste modo, dada a pertinência do tema para o projeto em questão, é concretizada de seguida uma reflexão sobre os sistemas atualmente em utilização na empresa.

"Enterprise Resource Planning" (ERP)

De forma semelhante ao que acontece com a maioria das organizações modernas, a Adira utiliza um sistema de gestão de recursos e planeamento na sua atividade.

Fornecido por uma entidade externa, todo o funcionamento da organização tem como base esta ferramenta de gestão. Todos os trâmites inerentes aos diferentes processos de criação de valor, tais como ordens de produção, de venda e de compra, assim como interações entre

departamentos e colaboradores, são inseridos e registados num sistema "*Enterprise Resource Planning*".

O sistema ERP proporciona ainda outras funcionalidades de auxílio à atividade empresarial. A título de exemplo, o planeamento e a sequenciação de todas as operações de negócio e de fabrico é auxiliado pela funcionalidade *Manufacturing Resource Planning*, MRP, que constitui uma ferramenta de ajuda à gestão de equipamentos e recursos, tanto fabris como logísticos. Por outro lado, a gestão da relação com o cliente é facilitada pela funcionalidade *Customer Relationship Management*, CRM, inserida no sistema ERP.

A utilização e integração destes sistemas é um elemento fundamental para a aplicação de uma política organizativa e de gestão compatível com a Indústria 4.0.

Sistemas "Cloud"

A utilização de sistemas "*cloud*" permite um armazenamento e disponibilização de dados em tempo real, recorrendo a uma conexão em rede e mediante a utilização de credenciais válidas.

Neste momento encontra-se implementado e em permanente atualização e melhoramento um repositório empresarial de informação, alojado nos servidores internos da empresa. Este método de armazenamento e disponibilização de informação é utilizado com o objetivo de permitir o acesso e o armazenamento de documentos tanto no interior como no exterior da firma e é um mecanismo particularmente útil para permitir a disponibilização imediata de informação relevante aos colaboradores da empresa.

A promoção deste tipo de solução visa lançar bases para a gestão e controlo empresarial através de um repositório de dados em nuvem, de acordo com os padrões da Industria 4.0.

Máquina virtual

Atualmente encontra-se em fase de desenvolvimento a criação de um sistema de máquina virtual que permita o acesso remoto a um sistema operativo disponibilizado por um servidor alojado na empresa.

Aquando da sua conclusão fornecerá uma alternativa de "configurador" *online* para os produtos da empresa. Esta ferramenta permitirá a escolha de componentes entre uma vasta gama de equipamentos opcionais, de acordo com as preferências dos clientes, servindo de apoio às atividades comerciais.

O desenvolvimento desta solução visa a criação das bases necessárias à criação de soluções para monitorização e controlo remoto, em tempo real, de sistemas e mecanismos cibernéticos futuros de produção e gestão da cadeia produtiva, inerentes ao paradigma da Indústria 4.0.

3.1.3 Processos de Valor

Com o intuito de desenvolver ações de inovação compatíveis com os processos internos atuais, visando uma melhoria de métodos, de níveis de eficiência, da produtividade e da comunicação, um estudo das atividades essenciais associadas à criação de riqueza revelou-se pertinente.

Uma introdução de políticas de controlo e de trabalho de cariz "Industria 4.0" pressupõe uma identificação prévia dos processos, metodologias, intervenientes e meios de comunicação inerentes à cadeia de criação de valor de uma organização, de forma a definir corretamente o *status quo* e a melhor forma de aplicar os conceitos mais modernos intrínsecos a este novo paradigma.

Assim sendo, foi realizado um levantamento dos processos fundamentais da cadeia de valor, partindo de uma perspetiva mais geral, para uma clarificação e caracterização dos processos relevantes ao projeto.

Processos gerais da Cadeia de valor

Em diversas organizações em atividade, a discriminação dos processos de valor, e respetivos intervenientes e responsáveis, não se encontra corretamente definida, verificando-se situações adversas e perdas de produtividade decorrentes da carência de uma correta atribuição de deveres, obrigações, divisão e especialização de trabalho.

De um ponto de vista das etapas e processos gerais de criação de riqueza, a cadeia produtiva associada à conceção e fabrico da maquinaria industrial na Adira compreende quatro fases principais, distintas e sequenciais, ilustradas na Figura 7.



Figura 7 – Processos da cadeia de valor

Esta sequência é ilustrativa das diferentes etapas da criação de valor, relacionadas com a interação com clientes, com a conceção e planeamento de equipamentos e operações e com o fabrico e entrega aos respetivos compradores. A descrição individual de cada processo é apresentada nos parágrafos seguintes.

I. Encomendas

A sequência de criação de valor associada à atividade económica da empresa é desencadeada pela geração de uma ordem de venda de um determinado equipamento, resultante das necessidades expostas por um dado cliente.

A concretização de uma ordem de encomenda – ou venda – resulta de um trabalho conjunto entre os departamentos comercial, financeiro e de engenharia. A área comercial é responsável pela quase totalidade dos contactos entre a entidade vendedora e o cliente. Em articulação com a parte financeira, toda a burocracia e procedimentos legais de compra e venda são da responsabilidade destes departamentos.

O papel do departamento de engenharia é distinto, prestando um serviço auxiliar aos departamentos comercial e financeiro ao emitir os pareceres técnicos necessários acerca da possibilidade, ou exequibilidade, da criação de um equipamento que vá de encontro às necessidades requeridas pelo cliente, ou modificação de um produto já existente no portfólio da firma para o mesmo propósito. No caso de se tratar de uma encomenda de um produto *standard*, isto é, de um produto presente no catálogo da firma, a intervenção do departamento de engenharia poderá nem ser necessária, uma vez que todas as especificações, valências e características de operação destes produtos são disponibilizadas previamente.

O principal *output* deste processo é uma ordem de venda introduzida no sistema ERP interno da empresa. Apesar dos possíveis pareceres da parte de engenharia, nenhuma conceção técnica é levada a cabo nesta fase.

II. Conceção e planeamento

No seguimento da ordem de venda resultante do processo anterior, é iniciada a fase de conceção e planeamento do equipamento e das operações produtivas e logísticas necessárias à etapa de fabrico.

Neste processo, estão a cargo do departamento de engenharia todas as operações técnicas de estudo e desenvolvimento do equipamento a ser produzido. Dependendo do grau de customização e especificação fornecido pelo cliente, poderá ser necessária a criação, de raiz, de um novo equipamento. Por outro lado, poderá ser possível uma adaptação de um produto

standard, integrante do portfólio da empresa. De forma distinta ao que acontece no processo precedente, em que um parecer da área técnica poderá não ser necessário, a intervenção da parte de engenharia é sempre requisitada nesta etapa, na medida em que, por razões de qualidade, fiabilidade e segurança dos produtos, uma revisão às especificações técnicas e mecânicas do equipamento é sempre realizada aquando de uma venda.

Findos os procedimentos técnicos de desenvolvimento é iniciada a fase de planeamento de todas as etapas de produção, a realizar no processo seguinte da cadeia de valor. Nesta fase, é delineada uma sequência de procedimentos produtivos e logísticos necessários para o fabrico do produto, bem como as necessidades logísticas e de compra de materiais e componentes necessários à produção. As responsabilidades do planeamento são repartidas entre os departamentos de produção e de compras da empresa.

Como resultado temos a introdução de ordens de produção e de compra de materiais e componentes no sistema ERP da empresa, bem como todos os dados e desenhos técnicos necessários à execução do processo seguinte.

III. Fabrico

O terceiro processo da cadeia de valor da empresa é, porventura, o mais importante e complexo. Isto porque corresponde à execução das ordens de produção relativas ao fabrico do produto vendido.

A execução dos procedimentos de fabrico fica a cargo do departamento de produção e dos próprios colaboradores e encarregados do chão de fábrica, incutidos da responsabilidade de executar as ordens de produção e de garantir as especificações técnicas dos diferentes componentes. Devido à diversidade de operações realizadas no âmbito do processo de fabrico, e como medida preventiva face a possíveis imprevistos, uma constante monitorização dos procedimentos é levada a cabo pelo departamento de produção.

Pontualmente, em virtude de situações adversas inesperadas, uma redefinição do próprio planeamento produtivo poderá ser necessária. Em alguns casos, mediante possíveis dificuldades de execução ou necessidade de clarificação das especificidades dos componentes, uma intervenção da parte técnica, de engenharia, poderá ser também solicitada. Os componentes específicos resultantes de compras a parceiros externos ficam a cargo do pessoal de armazém, responsável pelo seu armazenamento e disponibilização quando necessário. Após a conclusão dos procedimentos produtivos, são ainda realizados testes com vista a garantir o funcionamento do equipamento.

A complexidade da articulação entre os diversos intervenientes citados, e a necessidade de contar com a fiabilidade, pontualidade e assiduidade de certos e determinados serviços e parceiros externos, é ilustrativa da elevada complexidade deste processo. Como desfecho temos o produto encomendado pronto para entregar ao cliente, o que denota a elevada importância desta etapa de valor no âmbito da atividade da empresa.

IV. Expedição e entrega

A finalizar toda a cadeia de criação de valor, temos o processo de expedição e entrega do produto produzido.

Nesta fase, são delineados todos os procedimentos e requisitados todos os recursos logísticos necessários ao transporte do produto para o cliente. Este processo resulta de uma articulação entre os departamentos financeiro e comercial, responsáveis pela verificação e pelo controlo das operações financeiras exigidas e pela contratação de parceiros e recursos logísticos para o transporte e correto aprovisionamento dos equipamentos.

Concluído o processo de expedição do produto, todas as responsabilidades da empresa, em termos, por exemplo, da execução logística, transitam para parceiros externos, assinalando o termo dos processos da cadeia de valor da Adira.

Processos em estudo

Aquando da definição do presente projeto de dissertação, a empresa declarou como objetivo principal a obtenção de uma proposta para melhoria e digitalização dos procedimentos de produção associados a uma das suas secções produtivas. Assim, tendo em conta os processos de valor existentes, o estudo terá como foco as componentes inerentes ao processo de fabrico dos produtos.

Para uma melhor abordagem às etapas de fabrico, uma articulação com os processos de conceção e planeamento pode ser necessária. Isto porque, apesar do foco estar, de facto, nos procedimentos e métodos associados ao fabrico dos produtos, nunca a hipótese de atuação sobre as etapas de planeamento e conceção deve ser posta de parte. Por exemplo, a redefinição dos materiais, a reorganização de operações ou até a normalização de procedimentos podem ser propositados, com o intuito de proporcionar ganhos quando articulados com os métodos de fabrico necessários à materialização das ordens de produção.

Deste modo, estabelece-se como foco principal de estudo do presente trabalho o processo de Fabrico da empresa, paralelamente com alguns dos aspetos inerentes à Conceção e Planeamento, representados na Figura 8.

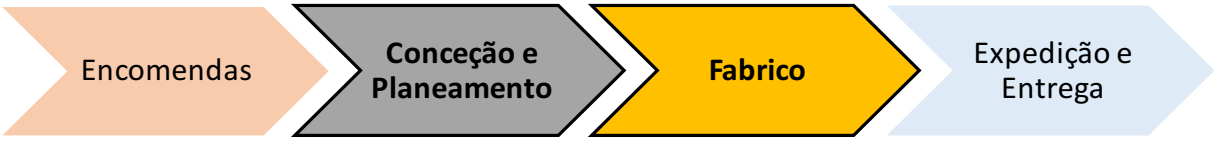


Figura 8 – Processos em foco no estudo

Etapas de fabrico de estruturas metálicas

A elaboração da proposta do presente projeto de dissertação teve como objetivo a necessidade de elaboração de um conjunto de propostas de melhoria associadas ao processo produtivo das estruturas metálicas produzidas pela empresa, no âmbito da Indústria 4.0.

Estas estruturas dizem respeito aos suportes estruturais de fixação de todos os componentes necessários à operação dos equipamentos produzidos. Todos os processos de conceção, de desenvolvimento e de produção são realizados internamente pela empresa, desde o projeto mecânico em computador até ao respetivo fabrico.

Para levar a cabo as intenções de melhoria nas etapas de fabrico, foi efetuado um levantamento de todos os subprocessos inerentes a esta atividade, com o objetivo de proporcionar um entendimento correto de toda a sequência de procedimentos.

A Figura 9 ilustra a sequência de trabalhos necessária ao fabrico das estruturas metálicas dos produtos da empresa.



Figura 9 – Processos de fabrico

A sequência de fabrico é iniciada com a Preparação, Tratamento e Corte de Matéria Prima. Nesta etapa, é aplicada uma proteção química às chapas metálicas, utilizadas para a criação das estruturas. De seguida, são executadas as operações de corte.

Na operação de trabalho denominada de Soldadura é feita a junção de todos os componentes metálicos provenientes da operação precedente. Nesta etapa é criado o conjunto estrutural que irá agregar todos os componentes necessários ao funcionamento do produto.

De seguida, são realizadas as operações de Maquinagem, sendo efetuadas sucessivas remoções de material nas estruturas provenientes da etapa anterior, de forma a criar as bases para a fixação de todos os componentes elétricos e mecânicos do produto. Esta fase é especialmente crítica para a qualidade do produto, pois é com as operações de fresagem, furação e roscagem, entre outras, que serão garantidas todas as especificações dimensionais dos equipamentos.

A fase seguinte consiste no Acabamento e Pintura. Como o próprio nome sugere, nesta etapa são realizadas todas as operações de acabamento e pintura.

Por último temos a operação de Montagem, onde todos os componentes e atuadores mecânicos, elétricos e eletrónicos são anexados à estrutura metálica e são realizados os testes e ações de programação numérica necessárias ao bom funcionamento do produto final.

3.2 Análise dos Centros de Maquinagem

Os Centros de Maquinagem da Adira correspondem aos centros produtivos responsáveis pelas operações de maquinagem das peças metálicas utilizadas no fabrico dos seus produtos.

3.2.1 Considerações prévias

A secção de maquinagem é responsável pela terceira etapa produtiva do fabrico dos componentes metálicos. Após as etapas de Corte e Tratamento de Matéria Prima e Soldadura, os elementos metálicos são sujeitos a uma remoção de material através da ação de máquinas-ferramenta.

Esta etapa é fulcral no processo produtivo, e constitui um dos gargalos do processo de produção. Nesta fase é garantida e assegurada a correspondência do produto final com as respetivas especificações técnicas previamente definidas, no que toca, por exemplo, ao tolerianciamento associado às superfícies essenciais ao seu funcionamento.

3.2.2 Produtos em análise

A vasta gama de produtos comercializados pela empresa e o elevado grau de customização requerido, aquando da criação de equipamentos especialmente desenvolvidos para suprir as necessidades específicas dos clientes, dotam a Adira de uma importante vantagem competitiva no mercado.

Porém, para o estudo específico da secção de maquinagem revelam-se fatores dificultadores, particularmente aquando da escolha da estrutura sobre a qual deveria incidir o levantamento dos procedimentos de maquinagem. Isto porque, dadas as especificidades individuais de muitos dos produtos, as necessidades relativas à etapa de remoção de material são muito diversas.

Contando com a vasta experiência dos diferentes colaboradores, e recorrendo a uma ponderação relativa acerca da importância e pertinência dos respetivos micro processos de maquinagem, o levantamento foi levado a cabo aquando do fabrico de estruturas representativas das tipologias de produtos mais produzidas pela empresa.

3.2.3 Levantamento dos subprocessos de maquinagem

Para o levantamento dos procedimentos inerentes à etapa de maquinagem, foi realizado um acompanhamento contínuo de todo processo de remoção de material das estruturas cruciais à atividade da Adira.

O processo de maquinagem compreende uma série de etapas de remoção de material, denominadas de Subprocessos de Maquinagem. Com esta definição pretende-se um agrupamento das sucessivas micro operações de fresagem, furação e roscagem, entre outras, executadas ao longo de todo o processo, designadas como Micro Processos de Maquinagem.

Na Figura 10 é apresentada a hierarquia associada às designações anteriormente explanadas para os diferentes tipos de processos considerados e na Figura 11 é ilustrada a sequência de subprocessos associados à execução do processo de maquinagem das estruturas.

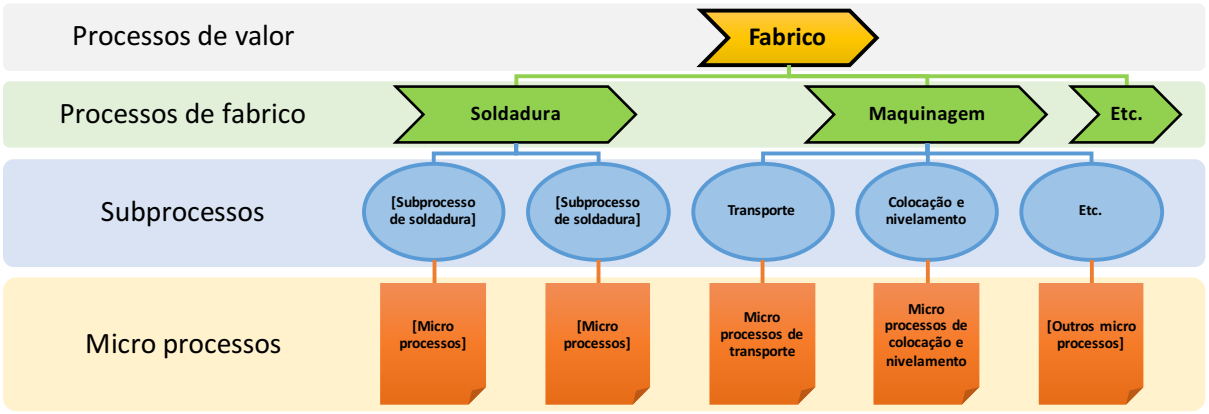


Figura 10 – Hierarquia de processos de fabrico

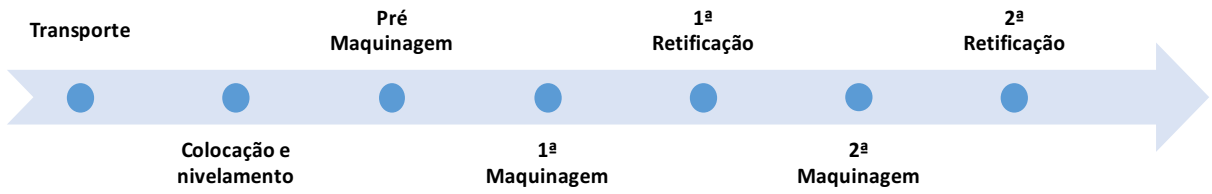


Figura 11 – Subprocessos de maquinagem

Começando pelo transporte dos componentes a maquinar, e pelas operações de colocação e nivelamento, a sequência de operações ilustrada é exemplificativa do sucessivo aumento do grau de precisão inerente às operações, começando com uma pré-maquinagem, relativamente pouco rigorosa, e terminando com uma série de procedimentos de retificação, mais demorados, essenciais à garantia das especificações técnicas da máquina.

De seguida é apresentada uma descrição mais pormenorizada dos subprocessos referenciados, bem como alguns micro processos e operações intrínsecas à sua realização.

Transporte da estrutura

O transporte da estrutura corresponde ao primeiro passo para a maquinagem de qualquer tipo de componente. Admitiu-se como início desta etapa o momento referente ao princípio do processo de remoção do componente anteriormente maquinado.

Nesta etapa, foram contabilizados os tempos relativos ao transporte efetivo dos componentes, bem como de algumas operações de manutenção realizadas.

Colocação e nivelamento

O subprocesso de colocação e nivelamento é considerado como um procedimento de configuração, verificação e ajuste, tanto dos componentes a maquinar como dos parâmetros da máquina responsável pelas operações.

A correta configuração dos critérios de maquinagem e respetivos ajustes na estrutura são realizados nesta fase.

Uma incorreta definição dos parâmetros poderá resultar numa inutilização dos componentes metálicos maquinados, resultando em perdas significativas no processo produtivo.

Pré maquinagem

Finalizados os processos de transporte, ajuste e configuração são desencadeadas as atividades de remoção efetiva de material, com uma pré-maquinagem do componente.

Dependente dos ajustes e verificações realizados anteriormente, uma remoção rápida de material em determinadas faces e superfícies é levada a cabo. Este subprocesso é relativamente pouco rigoroso, uma vez que, em determinadas superfícies, são frequentemente encontradas grandes quantidades de material a retirar, onde o rigor dos parâmetros de maquinagem não são cruciais.

De modo a realizar o procedimento no menor tempo possível, esta etapa é realizada de forma mais rápida e com menor precisão do que as seguintes.

Primeira Maquinagem

Tal como evidenciado anteriormente, a partir desta fase o rigor associado aos parâmetros de maquinagem dos micro processos é sucessivamente mais relevante.

As operações inerentes à primeira maquinagem têm como objetivo maquinar, de forma mais precisa, as faces e superfícies afetas ao subprocesso precedente, sendo necessário, neste caso, um maior controlo dos parâmeros de operação.

Primeira Retificação

A Primeira Retificação compreende o primeiro conjunto de micro processos e operações de controlo, com rigor elevado.

Nesta fase, as faces e superfícies mais importantes para o funcionamento do produto são alvo de uma série de procedimentos de elevada precisão, com vista a corresponder às especificações técnicas do equipamento.

Segunda Maquinagem

Concluídos os subprocessos anteriores, a etapa de Segunda Maquinagem detém um carácter similar à Primeira Maquinagem.

As sequências da operação são essencialmente as mesmas, sendo a diferença fundamental relativa às faces maquinadas. Tipicamente, a primeira maquinagem incide sobre as faces frontais e sobre as superfícies horizontais de suporte e acoplamento de componentes futuros.

Nesta etapa são realizados os procedimentos de maquinagem nas faces laterais e em superfícies onde a dificuldade de operação é maior, mais demorada, e com necessidade de um controlo mais rigoroso do que na Primeira Maquinagem.

Segunda Retificação

A Segunda Retificação corresponde ao subprocesso final da maquinagem das estruturas.

Nesta fase são realizadas todas as operações de remoção de material nas superfícies mais sensíveis e com maiores especificidades. Operações relacionadas com, por exemplo, a

garantia de perpendicularidade entre superfícies e estabelecimento de tolerâncias extremamente reduzidas, são executadas nesta fase. A precisão dos parâmetros, o rigor e o controlo na execução das operações são máximos durante este subprocesso.

Como procedimento final é realizada uma verificação global de todas as superfícies maquinadas. A validação das cotas, das rugosidades e das tolerâncias é tida como ponto de conclusão do processo de maquinagem.

3.2.4 Dados de desempenho de maquinagem

O levantamento dos subprocessos permitiu, paralelamente, um registo de todos os tempos e tipologias de operações realizadas aquando da maquinagem das estruturas. A consciencialização dos tempos de execução, dos recursos necessários e dos imprevistos verificados, possibilitou a realização e a divulgação de relatórios operacionais associados às diferentes etapas de produção nos centros de trabalho analisados.

A Tabela 2 discrimina as diferentes rubricas associadas às atividades dos cenários de levantamento, as quais foram criadas para descrever as diferentes tipologias de operação e as paragens verificadas no processo de maquinagem.

Tabela 2 – Rúbricas de atividade dos cenários de levantamento

Rúbricas de atividade	**Descrição**
Pausas planeadas	Paragens programadas, como almoço, jantar ou pausas durante turnos.
Pausas não planeadas: Operador	Paragens relacionadas com execução indevida de processos ou operações por parte do operador da máquina.
Pausas não planeadas: Avarias	Paragens relacionadas com avarias da máquina-ferramenta utilizada nas operações.
Transporte	Tempo afeto a operações de transporte associadas ao processo de maquinagem.
SetUp	Tempo afeto a configurações, ajustes, trocas de ferramenta e verificações.
Fabrico	Tempo afeto a operações de fabrico efetivo entre outras.

Para um correto reporte dos dados de produção, foram gerados dois cenários, com dados e com informação distinta, devidamente tratada e validada com os respetivos responsáveis e intervenientes no processo produtivo.

O primeiro caso diz respeito a um cenário real de produção, onde se encontram descritas todas as etapas de funcionamento dos equipamentos produtivos, denominado de Cenário Real. Neste cenário foram registados os tempos efetivamente verificados, referentes às rubricas anteriormente descritas, e foram levantadas todas as operações de fabrico necessárias à maquinagem do produto.

O segundo caso é designado de Cenário Ideal. Para a sua elaboração, foram retirados todos os tempos afetos a pausas, quer planeadas quer não planeadas, sendo apenas consideradas as operações de fabrico e de configuração efetivamente necessárias para a maquinagem dos componentes.

Para a correta interpretação do panorama produtivo, foram geradas algumas rubricas de desempenho elucidativas dos dados associado aos cenários de maquinagem, apresentadas e descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Rúbricas de desempenho dos cenários de levantamento

Rúbrica de desempenho	**Descrição**
Lead Time	Contabiliza o tempo total associado à maquinagem, englobando tempos como pausas planeadas (em que o processo é interrompido)
Tempo de abertura	Relativo ao tempo efetivo associado à execução do processo. Corresponde à retirada dos tempos afetos a "Pausas planeadas" ao "*Lead Time*"
Tempo de funcionamento	Correspondente ao tempo afeto à execução dos micro processos de maquinagem, resultante da subtração dos tempos de "Transporte", "Pausas não planeadas" e "*SetUp*" ao "Tempo de abertura";
Tempo produtivo	Para o cálculo deste indicador, foram subtraídos ao "Tempo de funcionamento" todos os períodos relativos a operações executadas devido a defeitos, tanto da máquina-ferramenta como da própria estrutura a ser maquinada, e operações indevidamente realizadas pelo operador.

Apresentam-se de seguida os cenários elaborados após o levantamento.

Cenário Real

O Cenário Real relata a situação efetivamente verificada no chão de fábrica aquando do fabrico de um determinado componente metálico.

Neste cenário são explicitados e detalhados todos os tempos relativos aos diferentes subprocessos de maquinagem, bem como os tempos de inatividade e as respetivas causas.

A Figura 12 apresenta as proporções verificadas nos tempos associado às rubricas anteriormente descritas.

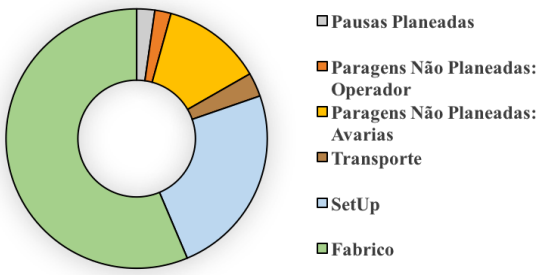


Figura 12 – Proporção de tempo afeto aos subprocessos de maquinagem no cenário real

Uma abordagem crítica permite constatar uma elevada percentagem de tempo relacionado com Paragens Não Planeadas e *SetUp* e uma proporção relativamente reduzida do tempo afeto ao Fabrico efetivo das peças.

A Figura 13 ilustra a proporção do tempo em funcionamento – *Up Time* – tempo de configuração – *SetUp Time* – e do tempo em inatividade – *Down Time* – em cada um dos subprocessos de maquinagem.

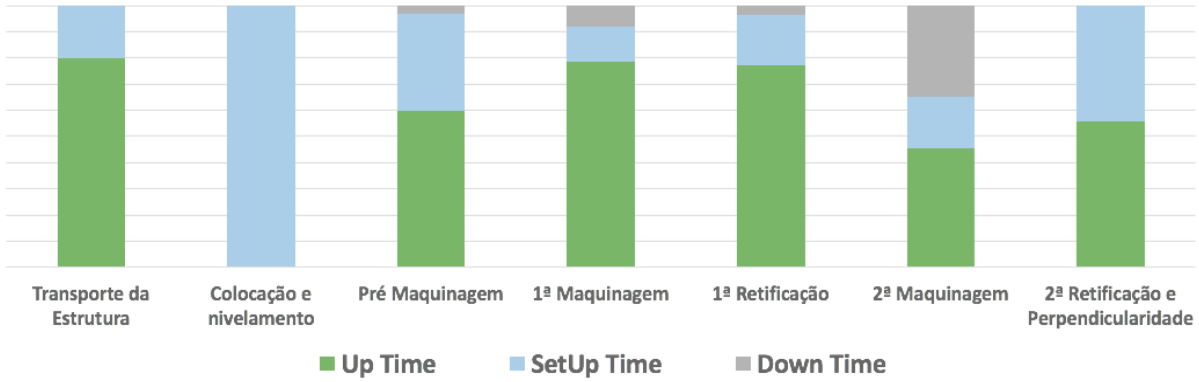


Figura 13 – Proporções reais dos tempos de atividade

Neste caso, é de notar a ausência de tempo em funcionamento no segundo subprocesso, uma vez que corresponde a uma atividade de configuração dos parâmetros do equipamento e da estrutura metálica. Por outro lado, verifica-se a existência de períodos de inatividade em mais de metade dos subprocessos, sendo a sua percentagem particularmente elevada na 2ª Maquinagem.

O impacto das atividades de *SetUp* no tempo total de cada subprocesso, em comparação com o associado ao fabrico (*Uptime*), será analisado no segundo cenário.

Os dados de desempenho produtivo associados a este cenário, e utilizados para reporte aos responsáveis da empresa, são elencados na Tabela 4. Por motivos de confidencialidade, os dados das durações associadas às rubricas de desempenho presentes nas tabelas seguintes foram convertidos de horas para unidades de tempo.

Tabela 4 – Dados de desempenho do cenário real

Rúbrica de desempenho	**Duração**
Lead Time	2,6
Tempo de abertura	2,5
Tempo de funcionamento	1,6
Tempo produtivo	1,5
Tempo produtivo / Lead Time	59%
Tempo produtivo / Tempo de abertura	62%

Analisando os dados da Tabela 4 constata-se um elevado potencial para aumento do nível de adição de valor no processo de maquinagem, particularmente o quociente entre o Tempo Produtivo e o Tempo de Abertura.

Cenário Ideal

O Cenário Ideal foi gerado após a remoção das rubricas associadas a Pausas Planeadas e Pausas Não Planeadas, com o intuito de apresentar os dados relativos a uma situação de produção plena, sem paragens. São apenas consideradas as atividades fundamentais à concretização do processo, concretamente Fabrico, *SetUp* e Transporte.

Na Figura 14 são ilustradas as proporções de tempo associadas a cada rubrica considerada.

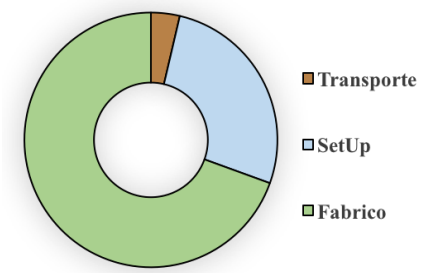


Figura 14 – Proporção de tempo afeto aos subprocessos de maquinagem no cenário ideal

A Figura 14 torna evidente a elevada percentagem da rubrica de configuração (*SetUp*) na globalidade do processo de maquinagem, cerca de 25% do tempo total necessário.

De forma semelhante à situação anterior, segue-se a Figura 15, demonstrativa da proporção dos tempos de funcionamento, configuração e inatividade. Considerando o carácter do cenário presente, a parte relativa a *Downtime*, ou inatividade da máquina-ferramenta, foi eliminada, obtendo-se assim proporções distintas em cada subprocesso.

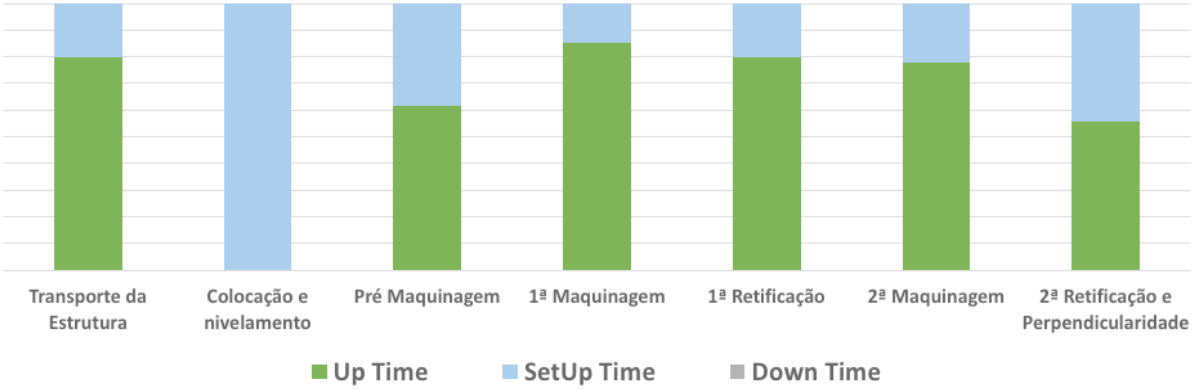


Figura 15 – Proporções ideais dos tempos de atividade

Uma análise dos diferentes tipos de configuração foi realizada, sendo os dados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tipos de configurações observadas

Tipo de configuração (*SetUp*)	**Quantidade**	**Duração**
Troca de ferramenta	28	33%
Ajustar e verificar a estrutura	8	45%
Rodagem do cabeço	6	9%
Rodagem de ferramenta	4	5%
Parametrização	3	4%
Limpeza	1	3%

As componentes Quantidade e Duração são referentes ao número total de micro processos associados a cada tipo de *SetUp*, presentes no Anexo A, e ao tempo total afeto à sua execução, relativamente ao total verificado para a globalidade dos micro processos de configuração.

Paralelamente é possível observar que, apesar de uma quantidade mais reduzida de operações, o ajuste e verificação das estruturas comporta a maior percentagem do tempo de configuração.

As operações associadas a rodagens são características das máquinas-ferramenta em estudo, uma vez que são realizadas de forma manual, através de uma intervenção do operador.

O tempo associado a Limpeza é relativamente reduzido. Com uma reorganização do trabalho, promovendo a sua execução em paralelo com outros micro processos, poderá ser eliminado.

A compilação destes dados evidencia uma preponderância da configuração associada a Troca de Ferramenta, responsável pela maior parte das paragens. Na Tabela 6 são apresentadas as rubricas de desempenho afetas às configurações associadas a Trocas de Ferramenta.

Tabela 6 – Rubricas de desempenho atual para "Troca de ferramenta"

Rubricas de desempenho atual para "Troca de ferramenta"	**Duração**
Tempo total atual de "Troca de ferramenta"	0,25
Tempo médio atual de "Troca de ferramenta"	0,01

O tempo total necessário foi obtido através da soma da duração de cada uma das atividades de configuração afetas a Troca de Ferramenta. O tempo médio foi calculado através do quociente entre o tempo total e a quantidade de operações verificadas, designadas de Troca no Anexo A.

Importa referir que não foram discriminados os tempos afetos à parametrização e programação dos micro processos de maquinagem.

Através de uma interação com os trabalhadores mais experientes, foi possível atribuir um tempo médio esperado para as vertentes efetivas de mudança da ferramenta em utilização e programação dos procedimentos conseguintes de maquinagem.

A Tabela 7 apresenta as durações médias necessárias para proceder às alterações de ferramenta e programação dos micro processos de maquinagem a executar, estando atribuída uma duração de apenas um minuto a ambas as vertentes. Dizem respeito às durações mínimas médias possíveis para realização destas tarefas. Este valor foi obtido aquando do processo de levantamento, por interação e observação das melhores práticas executadas pelos operadores mais experientes, e recorrendo a uma validação por parte dos mesmos.

Tabela 7 – Rubricas de desempenho esperado para "Troca de ferramenta"

Rubricas de desempenho esperado para "Troca de ferramenta"	**Duração**
Tempo médio esperado para mudança de ferramenta	0,003
Tempo médio esperado para programação	0,003
Tempo médio esperado de "Troca de ferramenta"	0,006

Assim, foi possível imputar uma duração média esperada de desempenho para configurações do tipo Troca de Ferramenta, que compreende a execução das tarefas de mudança de ferramenta e programação dos comandos numéricos para execução dos micro processos.

Os valores da Tabela 7 servirão de base para a análise do impacto de algumas das melhorias propostas no capítulo quatro, particularmente numa perspetiva de automatização e programação dos comandos numéricos.

De forma similar ao cenário anterior, a Tabela 8 lista os dados de desempenho produtivo associados a uma execução do processo de maquinagem sem quaisquer paragens.

Tabela 8 – Dados de desempenho do cenário ideal

Rúbrica de desempenho	**Duração**
Lead Time	2,2
Tempo de abertura	2,2
Tempo de funcionamento	1,6
Tempo produtivo	1,5
Tempo produtivo / Lead Time	68%
Tempo produtivo / Tempo de abertura	68%

O *Lead Time* neste cenário é menor e igual ao Tempo de Abertura, na medida em que não são consideradas as Pausas Planeadas e as Pausas Não Planeadas. Como resultado, vemos um melhoramento dos quocientes entre Tempo Produtivo e Tempo de Abertura.

Este caso elucida as percentagens mais elevadas de desempenho que podem ser obtidas com o estado presente de execução dos micro processos de maquinagem. Dados adicionais relativos aos subprocessos podem ser consultados no Anexo B.

3.2.5 Oportunidades de melhoria observadas

O acompanhamento completo dos subprocessos de maquinagem permitiu uma constatação de algumas oportunidades de melhoria, relacionadas com perdas de produtividade nas operações de maquinagem.

O diagrama causa-efeito presente na Figura 16 apresenta uma compilação estruturada das causas encontradas para perdas de produtividade na secção de maquinagem, associando cada causa a um de seis tipos distintos, concretamente Mão-de-obra, Medida, Matéria-prima, Método, Máquina, e Meio Ambiente.

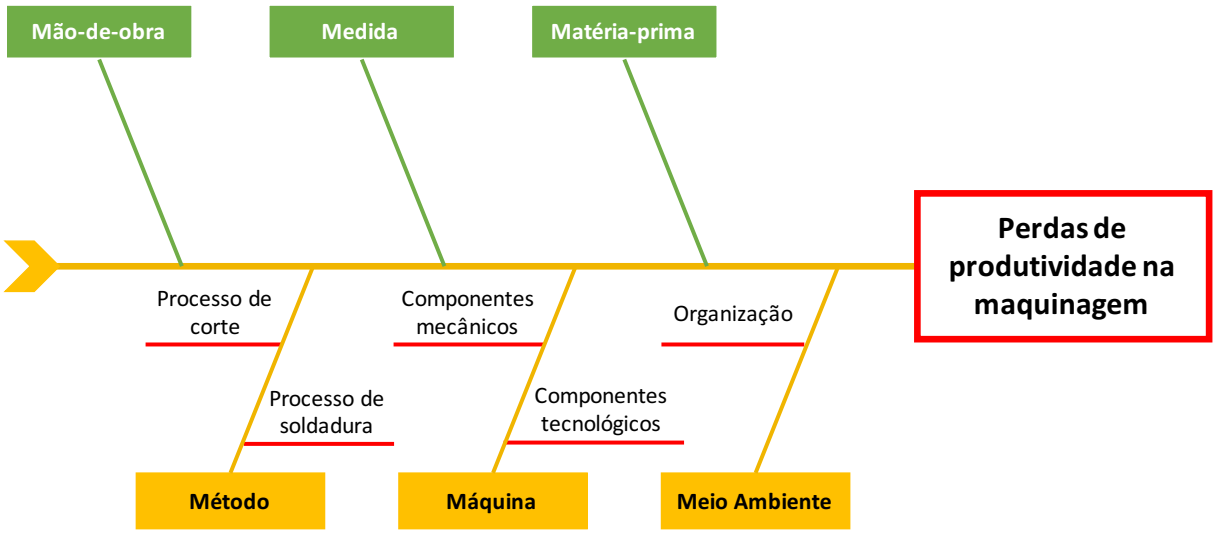


Figura 16 – Diagrama de causa-efeito para perdas de produtividade na secção de maquinagem

Através da análise do diagrama verifica-se a ausência de causas associadas à Matéria-prima, à Mão-de-obra e à Medida, ou seja, todas as causas envolvendo os materiais utilizados, as ações dos colaboradores e a calibração dos instrumentos na execução dos trabalhos.

A componente Método é referente a todo o tipo de causas associadas aos métodos de trabalho relativos aos processos produtivos. Nesta vertente, verificou-se que a execução das operações de corte e soldadura propicia algumas perdas de eficiência na secção de maquinagem, associadas a algumas deformações devido às elevadas temperaturas atingidas nestes processos.

À componente Máquina são associadas todas as causas incutidas às máquinas-ferramenta encarregues da execução dos micro processos de maquinagem. Alguns dos componentes mecânicos e tecnológicos dos equipamentos são responsáveis por perdas de eficiência associadas ao processo de remoção de material das estruturas.

Por último, a componente Meio Ambiente compreende as causas associadas ao meio ambiente envolvente, como poluição atmosférica, poluição sonora, entre outras, e ao ambiente de trabalho, particularmente a organização das estações produtivas. Apesar de não ser responsável por perdas acentuadas de produtividade, os métodos de organização das estações produtivas podem ser melhorados.

3.3 Grau de maturidade para "Indústria 4.0"

Com o intuito de avaliar a situação da empresa do ponto de vista da digitalização de processos e procedimentos organizacionais, foi realizada a aplicação de Modelos de Maturidade, especialmente dedicados e concebidos para uma avaliação do grau de desenvolvimento e preparação de uma empresa para a persecução das metas definidas para a Indústria 4.0.

A aplicação destes modelos é particularmente interessante no âmbito das organizações, aquando da abordagem a temas e conceitos de natureza recente e inovadora. Uma das principais dificuldades observadas na implementação de uma estratégia de reestruturação e inovação organizacional, prende-se com o facto de não existir uma caracterização concisa do estado presente da mesma. Neste âmbito, considera-se extremamente pertinente a aplicação de um Modelo de Maturidade à empresa, que forneça uma caracterização apropriada do seu estado presente, concomitantemente com o desfasamento verificado entre os denominados estados *As Is* e *To Be*, ou por outras palavras, os estados atual e pretendido para a organização, no panorama da Indústria 4.0.

Uma pesquisa acerca dos modelos especialmente desenvolvidos para uma caracterização empresarial no âmbito da I4.0 revelou a existência de algumas alternativas apropriadas, referenciadas no capítulo anterior. Para uma aplicação no âmbito do projeto, foram escolhidos dois modelos distintos, com características de aplicação e inquérito diferenciadas.

3.3.1 PwC – Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment

Desenvolvido e fornecido pela empresa consultora PricewaterhouseCoopers (PwC), esta ferramenta promove uma avaliação do nível de maturidade de uma organização em termos do grau de digitalização dos seus procedimentos.

Segundo a empresa consultora, o modelo foi elaborado com o propósito de fornecer um melhor entendimento acerca da posição de uma dada empresa em relação aos pressupostos I4.0, através de uma mensuração do panorama atual face ao pretendido em seis dimensões, identificando as necessidades de ação e fornecendo uma elucidação acerca do nível de maturidade atual.

A sua escolha teve por base o facto de ser um modelo *online*, relativamente fácil de utilizar. A aplicação deste modelo passou pela realização do inquérito fornecido pela empresa consultora aos colaboradores integrantes dos projetos de desenvolvimento existentes na empresa e relacionados com a Indústria 4.0.

Método de avaliação

O modelo *Digital Operations Self-Assessment* da PwC serve para providenciar às empresas uma correta definição do ponto de partida para a sua jornada de melhoria digital, segundo o setor de atividade.

A avaliação passa por uma caracterização das organizações recorrendo a seis dimensões distintas, relacionadas com o grau digitalização dos procedimentos. Consoante as características da organização, é atribuído um de quatro níveis de maturidade.

O modelo pressupõe uma autoavaliação do grau de digitalização dos procedimentos internos da empresa, não incidindo sobre os produtos desenvolvidos e comercializados pela mesma, tendo como resultado a atribuição de um nível de maturidade à entidade. As dimensões e níveis inerentes ao modelo encontram-se no Anexo C.

Avaliação resultante

Neste documento são apenas apresentados os resultados referentes à realização do inquérito por parte do responsável da empresa para as tecnologias de informação e comunicação, também membro integrante dos referidos projetos de desenvolvimento.

Em resultado da aplicação desta ferramenta, no que respeita à digitalização requerida para alcançar o paradigma da I4.0, constatou-se que a Adira se encontra no estágio de maturidade correspondente a *Digital Novice*.

Foram observados diferentes níveis e necessidades associados às distintas dimensões em análise. Os dados resultantes da aplicação do modelo encontram-se sintetizados no Anexo E.

3.3.2 IMPULS – Industrie 4.0 Readiness

Segundo os dados disponibilizados, o estudo associado ao modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness* foi requerido pela fundação "IMPULS" da Federação Alemã de Engenharia, VDMA, e conduzido pela IW Consult, uma subsidiária do Instituto de Colónia para a Investigação Económica, e pelo Instituto de Gestão Industrial, FIR, da Universidade RWTH de Aachen.

Fundada em 1989, a fundação IMPULS explora as questões fundamentais de importância estratégica para a indústria alemã de engenharia. Desde então, encomendou mais de 90 estudos e projetos especializados, abrangendo um amplo espetro de temas, desde política económica até tecnologia, inovação e educação.

Alinhada com uma poderosa associação industrial, como é a vertente de consultoria do Instituto de Pesquisas Económicas de Colónia, a IW Consult fornece ações de pesquisa e serviços altamente especializados para empresas, associações, ministérios, fundações e instituições públicas, desenvolvendo soluções customizadas para abordagem de questões importantes de política económica e social.

A FIR é uma instituição de pesquisa sem fins lucrativos e interprofissional da Universidade RWTH de Aachen, muito ativa no campo da organização empresarial e do desenvolvimento corporativo. Este instituto trabalha no desenvolvimento sistemático de soluções organizacionais no âmbito das transformações de negócios, gestão de serviços, de informações e de produção para empresas do futuro, trabalhando com parceiros industriais na garantia da implementação de melhores práticas.

Método de avaliação

Comparativamente com o modelo anterior, o modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness* fornece uma avaliação mais cuidada e fundamentada, propondo medidas de ação concretas consoante os níveis de maturidade verificados em cada uma das dimensões avaliadas.

Este modelo propõe uma avaliação da empresa a seis dimensões distintas e fundamentais para o paradigma da Indústria 4.0. A estas dimensões estão inerentes 18 campos para os quais se procede a uma avaliação mais rigorosa. Mediante o resultado da avaliação nas diferentes vertentes, a caracterização da empresa é realizada através da atribuição de um de seis níveis de maturidade, começando em *Outsider*, correspondente a um nível de total desconhecimento das problemáticas I4.0, e terminando em *Top Performer*, referente ao estado mais avançado de aplicação de práticas, políticas e métodos de trabalho alinhados com os pressupostos da quarta revolução industrial.

O método de aplicação deste modelo foi semelhante ao descrito no caso anterior, tendo passado pela realização de um inquérito *online* disponibilizado pelas entidades criadoras do modelo aos integrantes dos projetos de desenvolvimento da Adira, relacionados com a Indústria 4.0, de modo a avaliar os procedimentos internos da empresa. Os passos da aplicação do modelo encontram-se descritos no Anexo D**.**

Avaliação resultante

Tal como para o caso anterior, são apenas apresentados os resultados referentes à realização do inquérito por parte do responsável da empresa para as tecnologias de informação e comunicação.

A aplicação do modelo atribuiu à empresa o nível intermédio de Prontidão, concretamente o Nível 2, representado na Figura 17. Verificam-se níveis satisfatórios nas dimensões de *Strategy and organization* e *Employees* e um nível relativamente reduzido relacionado com as *Smart Operations*.

Os resultados encontram-se compilados no Anexo F, que descreve o estado atual da empresa afeto a cada uma das dimensões. Estes resultados dizem respeito ao relatório fornecido após a realização do inquérito.

A articulação dos resultados obtidos com as sugestões de ações associadas a cada dimensão, presentes no relatório de desenvolvimento do modelo e incluídas no Anexo H do presente documento, permite o estabelecimento de medidas de melhoria nas diferentes áreas de avaliação com vista à persecução do nível conseguinte.

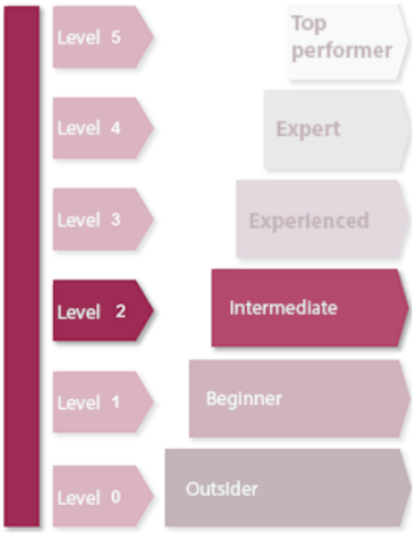


Figura 17 – Resultado geral de avaliação pelo modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

4 Requisitos e propostas para melhorias Indústria 4.0

Concluídos todos os aspetos relativos ao levantamento e caracterização dos processos da organização, o presente capítulo foca-se na elaboração de um conjunto de requisitos de melhoria, de forma a dar resposta aos problemas encontrados aquando do estudo dos procedimentos organizacionais e operacionais da empresa e às necessidades para a criação de uma arquitetura e sistema I4.0.

Com vista a atingir um estado de digitalização e modernização de equipamentos produtivos e sistemas de informação e comunicação, compatível com as práticas e políticas da quarta revolução industrial, são referidos de seguida alguns requisitos para uma modernização tanto dos equipamentos como dos sistemas de informação existentes na firma.

4.1 Requisitos do Sistema 4.0

A implementação de soluções inseridas no âmbito da Indústria 4.0 pressupõe um elevado nível de digitalização dos processos e operações.

Um dos elementos chave para as inovações a nível dos procedimentos e da gestão empresarial consiste na capacidade dos sistemas de informação e gestão conseguirem corresponder às necessidades deste novo paradigma organizacional.

O conceito de Sistema 4.0 pressupõe a criação de um conjunto de condições funcionais, capazes de suportar todas as funcionalidades e sistemas necessários à monitorização, controlo e planeamento de todas as atividades.

Sistema de informação

A incorporação de melhorias ao nível dos sistemas de informação insere-se numa abordagem de gestão mais geral e alargada, que visa fornecer as bases necessárias à integração e ao funcionamento dos sistemas produtivos, na vertente dos meios para comunicação e armazenamento de dados.

Estes sistemas deverão possibilitar uma conexão, em tempo real, com todos os elementos intervenientes nos processos produtivos da organização. A diversidade de funcionalidades e níveis de digitalização requeridos pelas práticas de gestão, produção e planeamento organizacional da Indústria 4.0 necessitará de uma correta adequação destes sistemas.

Os sistemas de informação e comunicação presentes na organização deverão proporcionar as condições necessárias à correta integração dos processos de negócio, através de uma digitalização dos procedimentos inerentes às diferentes áreas de trabalho. O registo digital de todas as operações e interações no âmbito da atividade empresarial será a base para a aplicação de algoritmos avançados de *data-mining*, planeamento e gestão de recursos. Em articulação com os sistemas internos de armazenamento de dados, permitirá um controlo e análise, em tempo real, de todo o ambiente empresarial e respetiva envolvente.

A redefinição dos métodos de trabalho e níveis de digitalização necessários à Indústria 4.0 tornam a problemática do desenvolvimento dos sistemas de informação um requisito

fundamental à criação de uma arquitetura e sistema I4.0. A capacidade de integração e monitorização, em tempo real, de processos e equipamentos deve ser contemplada pelos sistemas de informação.

Base de dados em nuvem

A implementação de políticas produtivas e organizacionais relacionadas com a quarta revolução industrial está dependente da existência e disponibilidade da utilização de uma base de dados comum em nuvem, ou *cloud*.

O fácil e rápido acesso a informação proporcionado pelos sistemas *cloud* é condição *sine qua non* para a Industria 4.0, sendo um aspeto fundamental a incorporar na organização. Através destes mecanismos de armazenamento e disponibilização de informação, inúmeras bases de dados necessárias à atividade da empresa poderão ser criadas, com o intuito de possibilitar uma disponibilização expedita dos dados a pessoas, algoritmos e equipamentos.

A utilização destes sistemas de armazenamento e transmissão de dados será a base para a implementação das ferramentas de gestão empresariais e operacionais do futuro.

4.2 Requisitos para centros de maquinagem

Com o objetivo de proporcionar uma correção dos fatores de perda de produtividade, identificados aquando do acompanhamento dos procedimentos de fabrico, o presente subcapítulo foca-se nos requisitos associados ao melhoramento dos equipamentos produtivos. Estes melhoramentos visam a persecução dos objetivos inerentes à concretização do paradigma da Indústria 4.0, atuando paralelamente sobre as causas identificadas para perdas de eficiência na produção.

A intenção dos responsáveis da empresa em recorrer a parceiros externos para a correção dos defeitos inerentes à operação dos equipamentos foi um elemento chave para a elaboração das sugestões de melhoria nos centros de maquinagem.

Para uma melhor clarificação e organização dos temas abordados, a concretização dos requisitos e propostas foi repartida entre as vertentes mecânica, tecnológica e de registos, gestão e manutenção de equipamentos e ferramentas.

4.2.1 Requisitos mecânicos

O levantamento de problemas levado a cabo no capítulo precedente revelou a existência de um conjunto de elementos, de cariz mecânico, propiciadores de perdas de produtividade.

A idade avançada e o desgaste provocado pelo tempo de operação das máquinas-ferramenta são responsáveis por uma parte das perdas de eficiência.

Correção de desgaste mecânico

O desgaste mecânico de alguns dos componentes internos das máquinas é um dos fatores para perdas de eficiência associadas às máquinas-ferramenta em utilização na secção de maquinagem.

Uma atuação sobre os componentes mecânicos internos é fulcral para o melhoramento do processo produtivo. Visando não apenas um melhoramento imediato do desempenho das máquinas-ferramenta, a realização destas melhorias é considerada fundamental para a correta implementação de ferramentas de monitorização e manutenção de equipamentos, atualmente a serem desenvolvidas pela empresa.

Apesar de não estar diretamente associada às condições tecnológicas para Indústria 4.0, a introdução de melhorias neste âmbito é extremamente relevante, servindo como base para o correto funcionamento dos equipamentos.

4.2.2 Requisitos tecnológicos

A par das componentes mecânicas, também são incutidas à parte tecnológica algumas causas para a perda de produtividade nos procedimentos de maquinagem.

O elevado tempo de operação e a idade dos componentes, referidos para a vertente mecânica, podem igualmente ser enunciados como elementos causadores de perdas de eficiência associados à vertente tecnológica dos equipamentos.

Seguidamente são enunciadas algumas vertentes suscetíveis de melhoramento. A perda de funcionalidades e a ausência de alternativas para controlar e agilizar o processo produtivo foram aspetos considerados na adequação da atual maquinaria aos princípios da I4.0.

Comandos Numéricos

A introdução de melhoramentos tecnológicos nos equipamentos produtivos não poderá deixar de lado uma atuação ao nível dos comandos numéricos.

A diminuta capacidade de armazenamento de dados e de automatização de algumas operações resultam numa redução das capacidades para controlo e agilização do processo produtivo. A alteração dos controladores deverá permitir a correção das falhas atualmente verificadas e a introdução de novas funcionalidades de controlo e monotorização.

De seguida são descritos os requisitos mais relevantes a ter em conta no momento da escolha das novas alternativas de controlo numérico a introduzir nos equipamentos produtivos.

I. Comunicação e transmissão de informação

A capacidade de comunicação e transmissão de dados entre um determinado equipamento e os sistemas de planeamento e armazenamento de dados é um requisito indispensável no âmbito da implementação de políticas de produção e controlo associadas à Indústria 4.0.

A modernização dos comandos numéricos deverá ter impreterivelmente em conta a melhoria da capacidade de transmissão de informação por parte do controlador. A utilização de sensores especializados possibilitaria uma recolha de dados relevantes de execução dos processos. A sua articulação com funcionalidades de comunicação permitiria a sua transmissão para sistemas de monitorização e planeamento na organização.

Com base neste requisito, as possibilidades de desenvolvimento de novas ferramentas para controlo, monitorização, planeamento e fornecimento de dados para configurações prévias dos equipamentos são extensas.

II. Pré-programação e armazenamento

A capacidade de pré-programação é um dos aspetos a ter em conta aquando da alteração dos componentes de controlo numérico.

A incorporação de uma funcionalidade de pré-programação no comando numérico compreende a realização de ações de configuração de parâmetros de um ou mais procedimentos de maquinagem, em paralelo com a execução de um determinado micro processo. Por outras palavras, o operador teria à sua disposição uma funcionalidade que lhe permitiria programar o próximo micro processo de maquinagem durante o período de trabalho automático do equipamento.

Por outro lado, uma componente de armazenamento interna que permita o registo das linhas de comando elaboradas deve estar presente nas capacidades do controlador, como forma de promover um reaproveitamento de programas já concebidos. Em articulação com a vertente de comunicação, uma vez elaborado e guardado, seria possível a transmissão do programa

para um sistema de armazenamento em nuvem. Desta forma, seria exequível a criação de uma base de dados de programas de controlo numérico, acessível a todos os centros de trabalho.

Com a incorporação destas funcionalidades o operador seria capaz de agilizar a etapa de configuração do equipamento, tanto através da descarga de um programa de uma base de dados como pela capacidade de criação e armazenamento de um novo.

III. Registo e listagem automática de operações e ferramentas

Visando um controlo e monitorização de todos os procedimentos e ferramentas de maquinagem, o controlador numérico deverá permitir um registo de todas as operações.

O registo automático de todos os micro processos possibilitará o arquivo de todos os detalhes associados à sua execução, promovendo um maior e mais eficaz controlo, bem como uma disponibilização mais eficiente dos dados para cálculo de indicadores de desempenho. De forma análoga ao que acontece com a Pré-programação e Armazenamento, uma articulação da vertente de registo automático com a parte de comunicação permitirá uma recolha de informação e supervisão de procedimentos, em tempo real, e um armazenamento dos dados de desempenho numa plataforma em nuvem, responsável pela sua disponibilização para os diferentes sistemas e intervenientes.

Por outro lado, um registo das ferramentas utilizadas, e respetivos tempos de trabalho, poderá também ser mantido. Através de uma transmissão de informação e comunicação com os sistemas de armazenamento de dados, poderá ainda ser previamente disponibilizada uma listagem das operações, e respetivos utensílios, necessários à execução dos micro processos, mediante o componente metálico a maquinar. Desta forma, seria possível uma organização prévia dos trabalhos e recursos, no que diz respeito ao tipo de ferramentas, dispositivos necessários e respetiva disponibilidade aquando do início dos procedimentos produtivos.

O cumprimento deste requisito viabilizaria um controlo total dos recursos e micro processos inerentes à atividade de produção.

Sensorização e representação 3D

Como forma de analisar e verificar as condições das superfícies das estruturas a maquinar, e consequentes parâmetros de operação, provenientes dos processos de corte e soldadura da empresa, é proposto o estudo de uma solução de modelação e representação 3D.

Esta solução permitiria a criação de um modelo computorizado da estrutura metálica, através da incorporação de sensores especializados. Com recurso a esta tecnologia seria possível analisar as características e o estado das estruturas de forma automática e computorizada, em detrimento das verificações manuais realizadas atualmente.

Através da inclusão desta funcionalidade seria possível a obtenção de relatórios de qualidade e análise da viabilidade de execução dos processos de maquinagem numa dada estrutura.

4.2.3 Requisitos para programação, conceção e manutenção

Numa perspetiva de melhoramento dos processos de registo, gestão e manutenção de equipamentos e recursos produtivos, foi elaborado um conjunto de requisitos associados a mecanismos de agilização de produção e análise de dados.

Templates de pré-programação

O presente tópico parte do pressuposto da criação de uma base de dados em nuvem para armazenamento e disponibilização dos programas de execução dos micro processos de maquinagem.

Tendo em conta a heterogeneidade de equipamentos existente, o simples armazenamento e disponibilização de programas elaborados para execução de um micro processo, num dado equipamento, não garante a sua usabilidade e compatibilidade aquando da necessidade de utilização num outro mecanismo de trabalho.

De forma a criar uma alternativa de disponibilização de programas compatíveis com todos os equipamentos, é proposta a criação de *Templates* de pré-programação. Esta proposta visa a disponibilização de um programa onde o operador apenas deverá configurar alguns parâmetros básicos para, automaticamente, o programa se adaptar ao equipamento em questão.

A elaboração desta alternativa facilitaria, por exemplo, a configuração dos parâmetros de maquinagem aquando do fabrico de produtos especializados e customizados para clientes, onde a simples execução dos programas elaborados para produtos *standard* não é recomendada. Porém, tendo em conta que a sequência base de operações de maquinagem é semelhante, consoante a gama de produto, a elaboração de uma alternativa de configuração simples dos parâmetros de maquinagem, descarregada para o controlador da máquina, facilitaria e agilizaria a execução dos micro processos de fabrico.

Pré-programação automática na conceção

A Pré-programação automática na conceção compreende a criação prévia dos programas necessários para a execução dos micro processos de maquinagem de uma determinada peça aquando da sua conceção em computador.

Aquando da criação do modelo digital num software de *Computer-aided Design*, CAD, deverá ser automatizada a criação de um ficheiro num software de *Computer-aided Manufacturing*, CAM. Este tipo de ficheiro engloba todos os programas numéricos necessários à execução dos procedimentos produtivos para uma determinada peça.

A elaboração de um ficheiro do tipo CAM através do modelo virtual de um determinado componente possibilitaria a criação automática de todos os programas necessários à configuração dos controladores numéricos dos equipamentos para execução dos micro procedimentos produtivos. Em articulação com as vertentes de comunicação e armazenamento descritas anteriormente, seria possível obter os programas necessários à execução dos micro processos produtivos de uma determinada peça através de uma descarga, ou transmissão, do respetivo ficheiro CAM.

Esta alternativa tornaria os requisitos de Pré-programação e *Templates* de pré-programação opções de recurso para a execução das operações produtivas, uma vez que seriam utilizadas apenas pontualmente.

Registo e manutenção

Além das vantagens de controlo associadas ao registo e armazenamento dos dados inerentes à produção já referidas, uma alternativa relacionada com a manutenção dos equipamentos e ferramentas merece destaque aquando da implementação de soluções de registo e controlo de recursos e procedimentos.

I. Ferramentas

A articulação entre as operações e as respetivas ferramentas utilizadas é um aspeto a ter em conta aquando da redefinição dos métodos produtivos para padrões de Indústria 4.0.

Uma associação entre a operação realizada, o respetivo tempo de atividade e a ferramenta utilizada, através, por exemplo, da introdução de um sistema de catalogação RFID para ferramentas, tornaria possível a criação de uma base de dados de utilização destes acessórios.

A disponibilização dos tempos de utilização de ferramentas tornaria exequível uma articulação com sistemas de análise de dados para a implementação de novas formas de planeamento, gestão e manutenção. A introdução destes sistemas permitiria uma análise aprofundada dos níveis de utilização destes utensílios, propiciando uma redução dos stocks associados. Em virtude de hipotéticos graus de utilização residuais, poderia ser promovida uma redefinição dos próprios desenhos mecânicos, com vista à eliminação da necessidade de utilização de certas ferramentas.

II. Equipamentos

De forma similar, novas políticas de manutenção dos equipamentos produtivos deverão ser tidas em conta aquando da implementação do sistema de registo descrito.

Pela análise dos tempos produtivos, e através da incorporação de sensores especializados para análise dos parâmetros de funcionamento, seria possível criar mecanismos de análise para a manutenção dos diferentes equipamentos produtivos.

4.3 Cenários estimados

Com base nos dados de produção do capítulo anterior, foram elaborados dois cenários para analisar o impacto direto, e no curto prazo, de alguns dos requisitos anteriormente referidos. Um terceiro cenário referente à implementação de melhorias mecânicas que não constituem requisitos fundamentais à implementação do sistema I4.0 é apresentado no Anexo G.

Para cada um dos casos apresentados, é feita uma descrição dos requisitos de melhoria considerados e do respetivo impacto no desempenho do processo produtivo, em termos do tempo de configuração ("*SetUp*") e do tempo total de produção (*Lead Time*). Por fim, é apresentado um tópico, denominado Evolução I4.0, focado no progresso resultante da implementação das melhorias, numa perspetiva de persecução dos objetivos intrínsecos à Indústria 4.0.

Na Tabela 9 são resumidas as melhorias admitidas na elaboração de cada um dos cenários.

Tabela 9 – Melhorias incluídas em cada cenário de melhoria

Cenário	Melhorias aplicadas
Primeiro cenário	✓ *Correção do desgaste mecânico*
Segundo cenário	✓ *Correção do desgaste mecânico* ✓ *Comando numérico: Pré-programação e armazenamento*

4.3.1 Primeiro cenário de melhoria

O primeiro cenário diz respeito à implementação das melhorias mecânicas dos equipamentos, concretamente, a Correção do Desgaste Mecânico.

A reparação das folgas internas e a correção de alguns desníveis associados aos componentes das máquinas-ferramenta da secção de maquinagem permite a extinção de algumas das operações adicionais necessárias à execução do processo. Deste modo, o tempo associado à rubrica de configuração Ajustar e Verificar a Estrutura pode ser reduzido.

Por outro lado, através de uma simples redefinição da sequência de procedimentos, os procedimentos relacionados com a rúbrica Limpeza poderão ser totalmente eliminados.

Dados do cenário

Na Tabela 10 são apresentadas as percentagens de redução associadas aos diferentes tipos de configuração descritos anteriormente.

Tabela 10 – Percentagens de redução dos tempos de configuração no primeiro cenário de melhoria

Tipo de configuração	Percentagem de redução
Troca de ferramenta	0%
Ajustar e verificar a estrutura	**-16%**
Rodagem do cabeço	0%
Rodagem de ferramenta	0%
Tirar zeros	0%
Limpeza	**-100%**

Através da implementação das melhorias mecânicas nos equipamentos, anteveem-se diminuições nas rubricas de configuração associadas ao processo de maquinagem das estruturas metálicas.

Impacto

A Tabela 11 é representativa das reduções totais nos tempos de configuração (*SetUp*) e *Lead Time* associados à implementação das melhorias mecânicas.

Tabela 11 – Percentagens de redução no primeiro cenário de melhoria

SetUp	**-11%**
Lead Time	**-3%**

Prevê-se uma redução nos tempos de configuração, na ordem dos 11%, paralelamente com uma diminuição no tempo total necessário à produção das estruturas metálicas dos produtos em foco neste estudo.

Evolução

Da implementação das melhorias mecânicas nos equipamentos não resulta uma evolução direta no que diz respeito aos objetivos de digitalização da Indústria 4.0. Como enunciado anteriormente, estas melhorias servem como base para o bom funcionamento dos equipamentos produtivos, proporcionando as condições adequadas à aplicação das melhorias tecnológicas requeridas.

Porém, foram verificados ganhos no desempenho produtivo, podendo os dados servir como fundamento para a implementação deste tipo de melhorias.

4.3.2 Segundo cenário de melhoria

No segundo cenário é admitida a implementação da capacidade de Pré-programação e Armazenamento nos equipamentos de produção, em paralelo com os melhoramentos mecânicos do cenário anterior. Parte-se ainda dos pressupostos assumidos na Tabela 6 e na Tabela 7 do capítulo anterior, onde são enunciados os tempos médios atuais e esperados de desempenho na configuração Troca de Ferramenta. Recorrendo aos dados da Tabela 7, foi considerada uma duração média de um minuto para a mudança efetiva das ferramentas de maquinagem das máquinas. Neste cenário, o tempo afeto a programação e parametrização foi totalmente eliminado, através da possibilidade de realização desta atividade em paralelo com a execução dos micro processos.

Dados do cenário

Na Tabela 12 são apresentadas as percentagens de redução associadas ao presente cenário de melhoria.

Tabela 12 – Percentagens de redução dos tempos de configuração no segundo cenário de melhoria

Tipo de configuração	Percentagem de redução
Troca de ferramenta	**-71%**
Ajustar e verificar a estrutura	**-16%**
Rodagem do cabeço	0%
Rodagem de ferramenta	0%
Tirar zeros	0%
Limpeza	**-100%**

Podemos verificar que a incorporação de uma funcionalidade que permita a pré-configuração dos parâmetros e programas associados à execução dos micro processos de maquinagem permite uma atuação sobre os tempos afetos à rubrica de configuração denominada de Troca de Ferramenta. A redução é proporcionada pela eliminação total dos tempos afetos à programação dos parâmetros de maquinagem, sendo apenas necessário um minuto, em média, para a mudança da ferramenta a utilizar nos micro processos.

Impacto

A Tabela 13 é exemplificativa das reduções totais nos tempos de configuração (*SetUp*) e *Lead Time* associados à implementação das melhorias admitidas na elaboração do presente cenário.

Tabela 13 – Percentagens de redução no segundo cenário de melhoria

SetUp	**-34%**
Lead Time	**-9%**

A implementação conjunta das melhorias mecânicas com uma capacidade de pré programação inserida nos comandos numéricos dos equipamentos é capaz de proporcionar uma redução de, aproximadamente, 34% no tempo total necessário para configuração, quando em comparação com o panorama atual de produção. No que toca ao tempo total produtivo necessário, observamos uma redução na ordem dos 9%.

Evolução

Contrariamente ao que acontece no cenário anterior, a incorporação da capacidade de Pré-programação e Armazenamento aproxima a empresa dos padrões produtivos da I4.0.

Se a esta nova funcionalidade for adicionada a Capacidade de Comunicação e Transmissão de Informação ao comando numérico, de forma a interagir com uma base de dados inserida nos sistemas tecnológicos da empresa, reunir-se-ão as condições necessárias a uma posterior implementação das melhorias associadas à criação de *Templates* de Pré-configuração e de Registos, Gestão e Manutenção.

O sucesso na implementação destas melhorias aproximaria significativamente a empresa dos padrões de trabalho e produção da quarta revolução industrial.

4.3.3 Aspetos não considerados na criação dos cenários

Aquando do desenvolvimento dos cenários anteriormente descritos, alguns aspetos para um cálculo mais fundamentado dos ganhos de produtividade associados, resultantes da aplicação dos requisitos de melhoria, não foram considerados.

A aplicação de melhorias aos componentes mecânicos resultará em ganhos de produtividade associados à velocidade de execução das tarefas de maquinagem. Porém, devido à ausência de um estudo concreto e existência de um elevado grau de incerteza, por parte dos parceiros externos, quanto aos ganhos de velocidade passíveis de serem atingidos após o melhoramento dos equipamentos, esta vertente não foi considerada no desempenho da rúbrica Fabrico.

As configurações associadas a Ajustar e Verificar a Estrutura apresentam um grau de redução relativamente diminuto, na medida em que uma redução do número destes micro processos revelou-se difícil de quantificar, estando fortemente dependente da tipologia e grau de melhoramento dos componentes mecânicos dos equipamentos.

À data da conclusão do presente documento, encontravam-se em desenvolvimento os trabalhos de consulta com os parceiros externos da firma. Deste modo, não foram avaliados os encargos associados à implementação das melhorias nos equipamentos.

4.4 Arquitetura Indústria 4.0

A definição de uma arquitetura Indústria 4.0 tem como propósito uma clarificação e ilustração das interações resultantes da aplicação dos requisitos anteriormente elencados nos diferentes elementos necessários à criação de um sistema I4.0.

Os elementos essenciais à concretização da arquitetura, bem como as respetivas interações, encontram-se ilustrados na Figura 18.

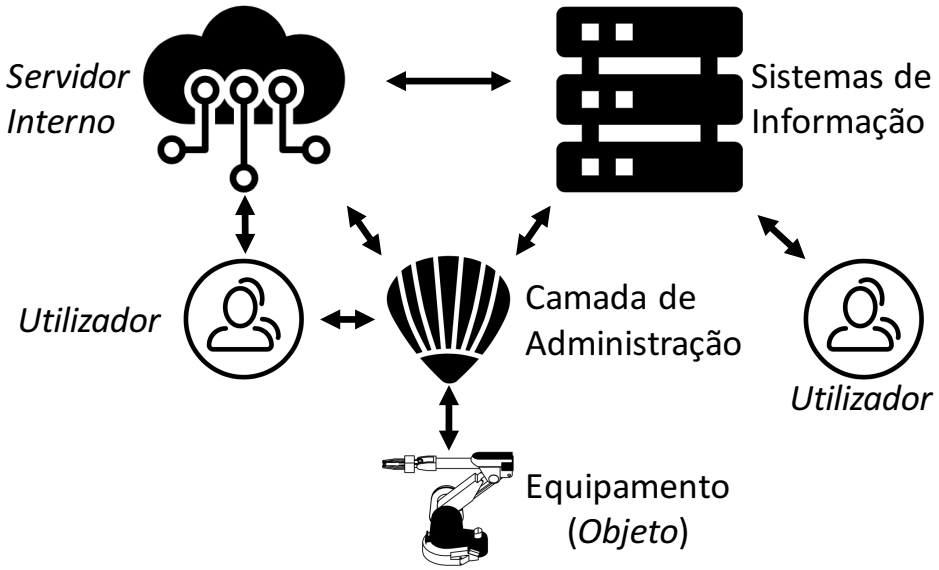


Figura 18 – Elementos e interações da arquitetura "Indústria 4.0"

Equipamento (Objeto) e Camada de administração (AdminShell)

O modelo RAMI 4.0 introduz a noção de Componente I4.0. Este modelo é constituído por dois elementos, o Equipamento, ou objeto, e a respetiva Camada de Administração (*AdminShell*).

Na presente arquitetura, o Equipamento é representativo dos mecanismos produtivos da empresa e, no caso das máquinas fresadoras em análise no estudo, dos respetivos sensores e atuadores elétricos e mecânicos. A cada um destes elementos está inerente uma Camada de Administração, a qual detém a função de receber e processar todos os dados provenientes dos componentes do mecanismo, como sensores e atuadores. Por outro lado, é responsável pela disponibilização de toda a informação relativa ao equipamento através das capacidades de comunicação e transmissão de dados para os restantes elementos da arquitetura, em formatos digitais compatíveis.

A Camada de Administração poderá ser incluída no próprio comando numérico do equipamento. Deste modo, seriam concentradas no controlador todas as funcionalidades de interpretação e transmissão dos dados necessárias à concretização da arquitetura.

Sistemas de Informação

Os Sistemas de Informação compreendem todos os sistemas de gestão e planeamento necessários à atividade da empresa e à concretização da arquitetura, tais como o sistema ERP.

Estes sistemas deverão ser dotados de uma capacidade de comunicação com os restantes elementos. Por outro lado, uma organização pertinente dos dados internos deverá ser levada a cabo, com vista à exequibilidade das interações e monitorizações necessárias. Serão responsáveis pelo planeamento e disponibilização de toda a sequência produtiva inerente à execução dos procedimentos produtivos.

Servidor interno

O Servidor Interno é representativo de um mecanismo de armazenamento dos dados comum a todos os elementos existentes, necessário ao correto funcionamento do sistema 4.0.

Este servidor será responsável pelo armazenamento de toda a informação relativa aos detalhes, programas e parâmetros de controlo dos equipamentos. Deverá ser desenvolvido como um servidor interno da empresa, atuando de modo análogo aos sistemas em nuvem. Por outras palavras, será responsável pelo armazenamento e disponibilização de todos os dados necessários aos processos de fabrico e à edificação do sistema.

A capacidade para albergar e executar algoritmos de interpretação dos dados é um requisito fundamental. Neste sentido, poderão ser desenvolvidas ferramentas de análise de desempenho com base nos dados existentes e transmitidos em tempo real.

Utilizador

O elemento Utilizador é referente aos diferentes intervenientes humanos no processo de criação de valor da empresa, passiveis de interagir com o sistema.

Interações

Após a exposição de todos os elementos necessários à criação da arquitetura, são de seguida descritas as interações e comunicações necessárias entre os elementos.

Equipamento & Camada de Administração

A interação entre o "Equipamento" e a respetiva "Camada de administração" está relacionada com a transferência e interpretação continuas dos dados dos sensores e atuadores presentes no equipamento. A "Camada de administração" será responsável pela sua interpretação e sucessiva disponibilização para transmissão aos restantes elementos da arquitetura.

Camada de administração & Sistemas de Informação

Cada Camada de Administração deverá ser dotada de um canal de comunicação direto e contínuo com os Sistemas de Informação da organização.

Aquando do início de uma ordem produtiva, mediante a identificação do componente a trabalhar, a capacidade de comunicação deverá possibilitar uma descarga automática, para o comando numérico, de toda a sequência de sub e micro processos necessários à execução do processo.

O estabelecimento de um canal contínuo de comunicação permitirá a transmissão de todos os dados de produção. Desta forma, será possível uma atualização, em tempo real, das ordens produtivas nos sistemas de informação da empresa. A título de exemplo, aquando do início ou finalização de um micro processo, uma comunicação com o sistema ERP deverá ser efetuada, como forma de proporcionar uma atualização das ordens de produção e uma capacidade de controlo do estado global do processo de maquinagem em tempo real.

Camada de Administração & Servidor Interno

A interação entre a Camada de Administração e o Servidor Interno será o elemento fulcral da arquitetura.

Esta linha de comunicação deverá permitir o armazenamento de todos os dados de monitorização e execução relativos aos sistemas de produção. Os dados provenientes dos sensores do equipamento serão armazenados pelo servidor. Através da execução de algoritmos especializados, uma monitorização, controlo, avaliação, análise de desempenho, qualidade, entre outros, poderão ser realizados em tempo real. De forma análoga, uma constatação de parâmetros fora dos limites usuais de funcionamento poderá despoletar ações de alerta e manutenção automáticas de equipamentos ou ferramentas.

Continuando o exemplo do ponto anterior, uma descarga dos programas necessários à execução dos micro processos deverá ser possível, e automatizada, aquando da receção da sequência de micro processos por parte do controlador do equipamento. Um canal de comunicação permanente deverá ser mantido, de forma a manter um registo de todos os parâmetros de funcionamento dos mecanismos produtivos.

Sistemas de informação & Servidor Interno

A base da interação entre os sistemas de informação e o servidor interno incidirá sobre uma atualização permanente dos desempenhos produtivos.

A par da interação dos Sistemas de Informação com as Camadas de Administração, uma comunicação com o servidor interno, albergador da totalidade dos dados de produção, será necessária. Esta comunicação, possibilitará uma flexibilização do planeamento produtivo em tempo real, promovendo um maior aproveitamento da capacidade produtiva da fábrica.

Interações com o Utilizador

A concretização da arquitetura e do sistema Indústria 4.0 pressupõe uma interação digital entre os colaboradores da empresa e os diversos elementos.

Aos utilizadores deverá ser permitida a interação com todos os elementos presentes na arquitetura. Excetuando a interação com o Equipamento, que será física e não digital através de ações de manutenção e supervisão presenciais, dependendo das credenciais de acesso, os utilizadores poderão aceder aos dados inseridos no sistema e à informação proveniente da ação dos diversos algoritmos de filtragem e análise dos mesmos.

5 Conclusões e propostas de trabalho futuro

Após a realização de todo o trabalho de estudo, levantamento de procedimentos e elaboração de um conjunto de requisitos e de propostas e de melhoria, o presente capítulo constitui a componente final do presente projeto de dissertação em ambiente empresarial.

Dado o carácter abrangente do tema da Industria 4.0, e tendo em consideração a presente proposta como um elemento percursor de um projeto mais concreto e ambicioso de implementação de novas políticas e tecnologias no quotidiano da empresa, algumas conclusões são elencadas de seguida.

É ainda realizada uma reflexão acerca de trabalhos e objetivos futuros a ter em conta aquando da elaboração e execução de um plano para melhoria dos processos internos da organização.

5.1 Considerações finais

Com o foco nos elementos intrínsecos à quarta revolução industrial, o presente projeto foi levado a cabo com o objetivo de constatar as práticas e procedimentos atuais, procurando ainda avaliar e fundamentar o desfasamento existente entre o panorama presente e os respetivos objetivos.

A elaboração deste projeto permitiu o levantamento do estado presente dos processos de valor, dos processos de fabrico e, concretamente, dos sub e micro processos da secção produtiva relativa à maquinagem das estruturas metálicas utilizadas na conceção dos produtos da empresa. Através de uma listagem de todos os procedimentos e do registo de todos os tempos e características das operações intrínsecas à execução dos mesmos, foi possível uma transmissão dos elementos mais propiciadores de falhas e perdas de produtividade aos responsáveis da empresa.

Visando a implementação de projetos de melhoria de processos e sistemas de comunicação, as propostas e os requisitos apresentados tiveram como base uma pesquisa acerca das melhores práticas e dos mais recentes desenvolvimentos científicos associados ao tema e as necessidades concretas da empresa, em termos organizacionais e produtivos.

Com base na referida pesquisa, e em articulação com as necessidades da Adira, foi elaborada uma arquitetura funcional para a criação de um sistema I4.0, com o objetivo de clarificar as características e valências de uma alternativa tecnológica assente nos pressupostos da quarta revolução industrial, bem como as interações, as trocas de informação e os elementos necessários à sua concretização.

Foi ainda possível uma articulação com alguns projetos consórcio de investigação e desenvolvimento em curso entre a Adira e o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia e Ciência (INESC TEC) e o Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI), relacionados com as problemáticas associadas à Indústria 4.0.

5.2 Perspetivas de trabalho futuro

De forma a tirar partido do levantamento efetuado e das propostas de melhoria elaboradas durante a execução do projeto e apresentadas nos capítulos terceiro e quarto, são agora expostas algumas considerações acerca de trabalhos futuros a ter em conta.

Tendo em conta a existência de alguns projetos consórcio de pesquisa e desenvolvimento no âmbito da Indústria 4.0, revela-se pertinente uma consciencialização dos participantes desses projetos acerca dos aspetos abordados neste documento. Uma elucidação acerca do levantamento realizado no terceiro capítulo e das melhorias elencadas no capítulo quarto poderá promover um correto aproveitamento do trabalho realizado.

Tendo em consideração a intenção dos responsáveis da empresa em proceder a um melhoramento dos componentes integrantes das máquinas, quer mecânicos quer tecnológicos, também uma disponibilização dos dados do projeto aos parceiros externos poderá revelar-se adequada, para uma constatação das necessidades e requisitos associados aos mecanismos produtivos e ao sistema I4.0.

No que diz respeito aos processos precedentes à etapa estudada, um estudo mais aprofundado sobre as causas propiciadoras dos problemas elencados para as estruturas metálicas deve ser levado a cabo. Deste modo, será possível uma atuação sobre algumas das causas propiciadoras de atrasos, podendo ainda ser elaborado um conjunto de medidas de melhoria semelhantes com o objetivo de modernizar processos e equipamentos, aproximando-os dos padrões requeridos para a Indústria 4.0.

De forma a tirar proveito dos resultados dos modelos de maturidade e prontidão aplicados, uma análise dos níveis verificados para as diferentes dimensões deve ser levada a cabo pelos responsáveis da empresa. O modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness* fornece sugestões de ação associadas às diferentes vertentes em análise, consoante o nível atribuído. As ações propostas pelo relatório de desenvolvimento do modelo deverão ser tidas em conta, como meio para estabelecer uma estratégia corporativa concreta para o desenvolvimento das diversas áreas da organização, no âmbito da Indústria 4.0.

Em suma, de forma a proceder à melhor política de implementação de melhorias, a informação disponibilizada neste documento deverá ser fornecida aos responsáveis, colaboradores internos e parceiros externos da empresa, de forma a elucidar claramente as necessidades intrínsecas à persecução dos objetivos da quarta revolução industrial.

Referências

Albliwi, S. A., et al. (2014). Critical literature review on maturity models for business process excellence. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management.

Atzori, L., et al. (2010). "The Internet of Things: A survey." Computer Networks **54**(15): 2787-2805.

da Silva, A. F., et al. (2016). "A Cloud-based Architecture for the Internet of Things targeting Industrial Devices Remote Monitoring and Control." IFAC-PapersOnLine **49**(30): 108-113.

Drath, R. e A. Horch (2014). "Industrie 4.0: Hit or hype? [Industry Forum]." IEEE Industrial Electronics Magazine **8**(2): 56-58.

Flatt, H., et al. (2016). Analysis of the Cyber-Security of industry 4.0 technologies based on RAMI 4.0 and identification of requirements. IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA.

Gorecky, D., et al. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. Proceedings - 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2014.

Grangel-Gonzalez, I., et al. (2016). An RDF-based approach for implementing industry 4.0 components with Administration Shells. IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA.

Haddara, M. e A. Elragal (2015). The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future. Procedia Computer Science.

Hermann, M., et al. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS).

Kagermann, H., et al. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt, acatech – National Academy of Science and Engineering.

Lee, E. A. (2010). CPS foundations. Proceedings - Design Automation Conference.

Lee, J., et al. (2015). "A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems." Manufacturing Letters **3**: 18-23.

Leyh, C., et al. (2016). SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. Proceedings of the 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2016.

Maasouman, M. A. e K. Demirli (2015). "Assessment of Lean Maturity Level in Manufacturing Cells." IFAC-PapersOnLine **48**(3): 1876-1881.

Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. Procedia CIRP.

Monostori, L., et al. (2016). "Cyber-physical systems in manufacturing." CIRP Annals - Manufacturing Technology **65**(2): 621-641.

Nelles, J., et al. (2016). Human-centered design of assistance systems for production planning and control: The role of the human in Industry 4.0. Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology.

Ngai, E. W. T., et al. (2013). "Energy and utility management maturity model for sustainable manufacturing process." International Journal of Production Economics **146**(2): 453-464.

Pigosso, D. C. A., et al. (2013). "Ecodesign maturity model: A management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies." Journal of Cleaner Production **59**: 160-173.

Prinz, C., et al. (2016). Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0. Procedia CIRP.

Proença, D. e J. Borbinha (2016). Maturity Models for Information Systems - A State of the Art. Procedia Computer Science.

Qin, J., et al. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. Procedia CIRP.

Röglinger, M., et al. (2012). "Maturity models in business process management." Business Process Management Journal **18**(2): 328-346.

Sanders, A., et al. (2016). "Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing." Journal of Industrial Engineering and Management **9**(3): 811-833.

Schmidt, R., et al. (2015). Industry 4.0 - Potentials for creating smart products: Empirical research results. Lecture Notes in Business Information Processing. **208:** 16-27.

Schumacher, A., et al. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. Procedia CIRP.

Seitz, K. F. e P. Nyhuis (2015). Cyber-physical production systems combined with logistic models-a learning factory concept for an improved production planning and control. Procedia CIRP.

Shi, L. (2014). "Analysis and design of secure cyber-physical systems." Control Theory and Technology **12**(4): 413-414.

Shrouf, F., et al. (2014). Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management.

Stock, T. e G. Seliger (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. Procedia CIRP.

Thames, L. e D. Schaefer (2016). Software - Defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. Procedia CIRP.

Tonelli, F., et al. (2016). A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 Era. Procedia CIRP.

Wan, J., et al. (2016). "Software - Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0." IEEE Sensors Journal **16**(20): 7373-7380.

Wang, S., et al. (2016). "Towards smart factory for Industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination." Computer Networks.

Xu, X. (2017). "Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing." International Journal of Advanced Manufacturing Technology: 1-8.

Zezulka, F., et al. (2016). "Industry 4.0 – An Introduction in the phenomenon." IFAC-PapersOnLine **49**(25): 8-12.

Zimmermann, A., et al. (2015). Digital enterprise architecture-transformation for the internet of things. Proceedings of the 2015 IEEE 19th International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops and Demonstrations, EDOCW 2015.

ANEXO A: Exemplo de Micro Processos de Maquinagem

Tabela 14 – Exemplo de subprocessos e micro processos de maquinagem

Subprocesso	Micro processos	Rúbrica de atividade
Transporte da estrutura	Retirada	Transporte
	Manutenção	SetUp
	Transporte	Transporte
Colocação e nivelamento	Testes	SetUp
	Nivelamento	SetUp
	Fixação	SetUp
Pré Maquinagem	Referencias	SetUp
	Pontos de furação	SetUp
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Fresar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Rodagem	SetUp
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Rodagem	SetUp
	Fresar	Fabrico

Subprocesso	Micro processos	Rúbrica de atividade
1a Maquinagem	Rodagem	SetUp
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Referenciar	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Referenciar	SetUp
	Ajustar	SetUp
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Roscar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Manutenção	SetUp
	Roscar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Pontos de furação	Fabrico
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Roscar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
1a Retificação	Aliviar Fixação	SetUp
	Troca	SetUp
	Retificação	Fabrico
	Verificação	Verificação
	Troca	SetUp
	Retificação	Fabrico
	Troca	SetUp
	Retificação	Fabrico
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico

Subprocesso	Micro processos	Rúbrica de atividade
2a Maquinagem	Fixação	SetUp
	Rodagem	SetUp
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Rodagem	SetUp
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Furar	Fabrico
	Rodagem	SetUp
	Troca	SetUp
	Fresar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
	Troca	SetUp
	Furar	Fabrico
2a Retificação	Aliviar Fixação	SetUp
	Nivelamento	SetUp
	Medição	SetUp
	Troca	SetUp
	Retificação	Fabrico
	Verificação	Verificação

ANEXO B: Dados adicionais de processo de maquinagem

A Tabela 15 e a Figura 19 abarcam os dados referentes à proporção da duração dos subprocessos de maquinagem.

Tabela 15 – Percentagem de cada subprocesso no tempo total de maquinagem

Subprocesso	Duração
Transporte da Estrutura	5%
Colocação e nivelamento	6%
Pré Maquinagem	12%
1ª Maquinagem	37%
1ª Retificação	11%
2ª Maquinagem	23%
2ª Retificação e Perpendicularidade	7%

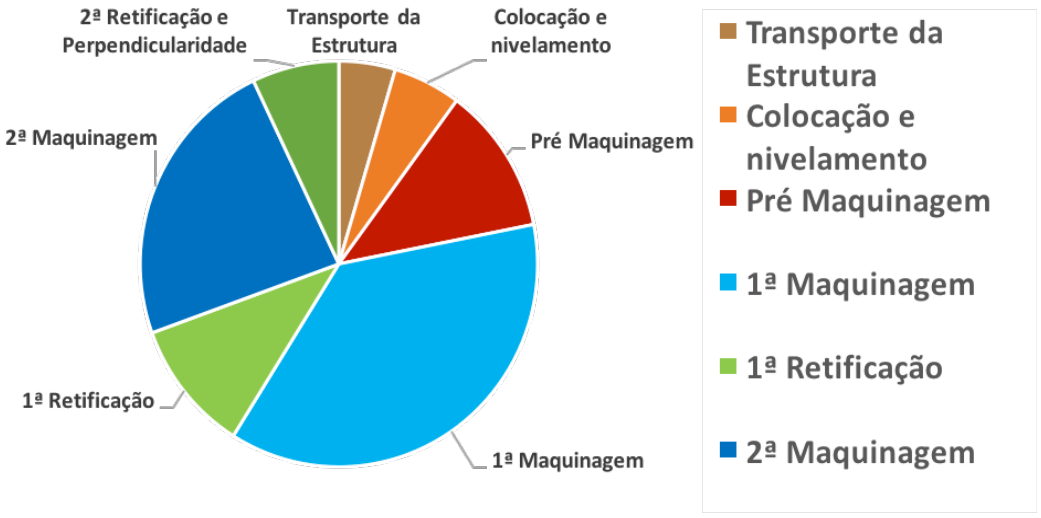


Figura 19 – Proporção de cada subprocesso no tempo total de maquinagem

ANEXO C: Componentes do modelo de maturidade *PwC*

Fonte dos dados: http://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf

Fonte do questionário online: https://i40-self-assessment.pwc.de/i40/landing/

- **Níveis e dimensões de maturidade**

	1 Digital novice	2 Vertical integrator	3 Horizontal collaborator	4 Digital champion
Digital business models and customer access	First digital solutions and isolated applications	Digital product and service portfolio with software, network (M2M) and data as key differentiator	Integrated customer solutions across supply chain boundaries, collaboration with external partners	Development of new disruptive business models with innovative product and service portfolio, lot size 1
Digitisation of product and service offerings	Online presence is separated from offline channels, product focus instead of customer focus	Multi-channel distribution with integrated use of online and offline channels; data analytics deployed, e. g. for personalisation	Individualised customer approach and interaction together with value-chain partners. Shared, integrated interfaces.	Integrated Customer Journey Management across all digital marketing and sales channels with customer empathy and CRM
Digitisation and integration of vertical and horizontal value chains	Digitised and automated sub processes. Partial integration including production or with internal and external partners. Standard processes for collaboration partly in place	Vertical digitisation and standardised and harmonised internal processes and data flows within the company; limited integration with external partners	Horizontal integration of processes and data flows with customers and external partners, intensive data use through full integration across the network.	Fully digitised, integrated partner ecosystem with self-optimised, virtualised processes, focus on core competency; decentralised autonomy. Near real-time access to extended set of operative information
Data & Analytics as core capability	Analytical capabilities mainly based on semi-manual data extracts; Selected monitoring and data processing, no event management	Analytical capabilities supported by central business intelligence (BI) system Isolated, not standardised decision support systems	Central BI system consolidating all relevant internal and external information sources, some predictive analytics Specific decision support and event management systems	Central use of predictive analytics for real-time optimisation and automated event handling with intelligent database and self-learning algorithm enabling impact analysis and decision support
Agile IT architecture	Fragmented IT architecture in-house.	Homogeneous IT architecture in-house. Connection between different data cubes developing.	Common IT architectures in partner network. Interconnected single data lake with high-performance architecture	Single data lake with external data integration functionalities and flexible organisation. Partner service bus, secure data exchange
Compliance, security, legal & tax	Traditional structures, digitisation not in focus	Digital challenges recognised but not comprehensively addressed	Legal risk consistently addressed with collaboration partners,	Optimising the value-chain network for compliance, security, legal and tax
Organisation, employees and digital culture	Functional focus in "silos"	Cross-functional collaboration but not structured and consistently performed	Collaboration across company boundaries, culture and encouragement of sharing	Collaboration as a key value driver

Figura 20 – Níveis e dimensões de maturidade, modelo "Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment"]

Anexo D: Componentes do modelo de maturidade IMPULS - *Industrie 4.0 Readiness*

Fonte dos dados: https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en

Fonte do questionário *online*: https://www.industrie40-readiness.de/?sid=62931&lang=en

- **Dimensões de Maturidade**

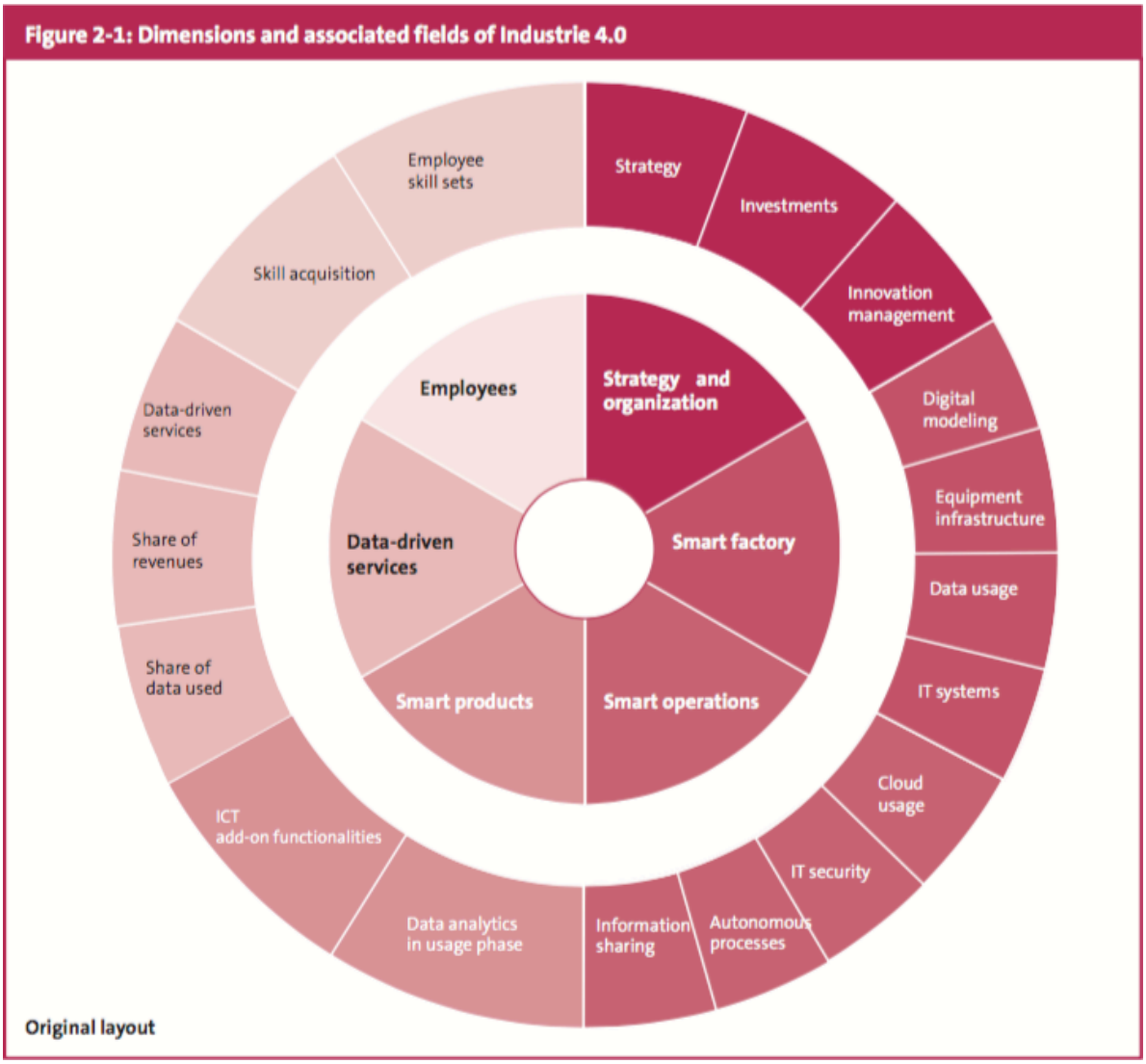


Figura 21 – Dimensões de maturidade, modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

➢ **Níveis de Maturidade**

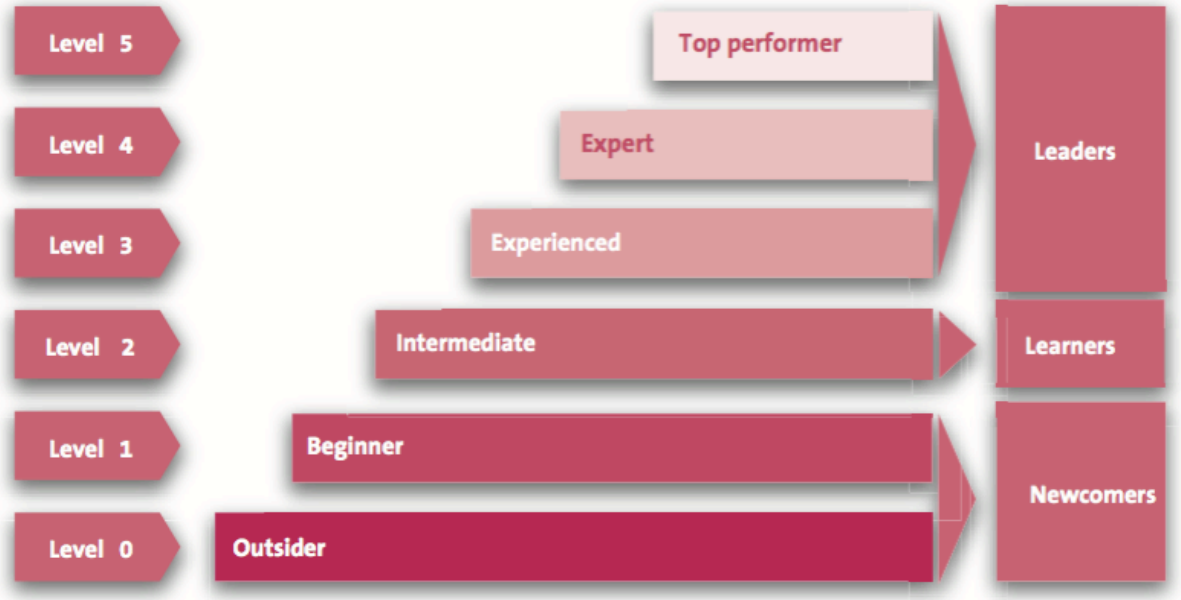


Figura 22 – Níveis de maturidade, modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

- **Componentes de avaliação de maturidade por dimensão**

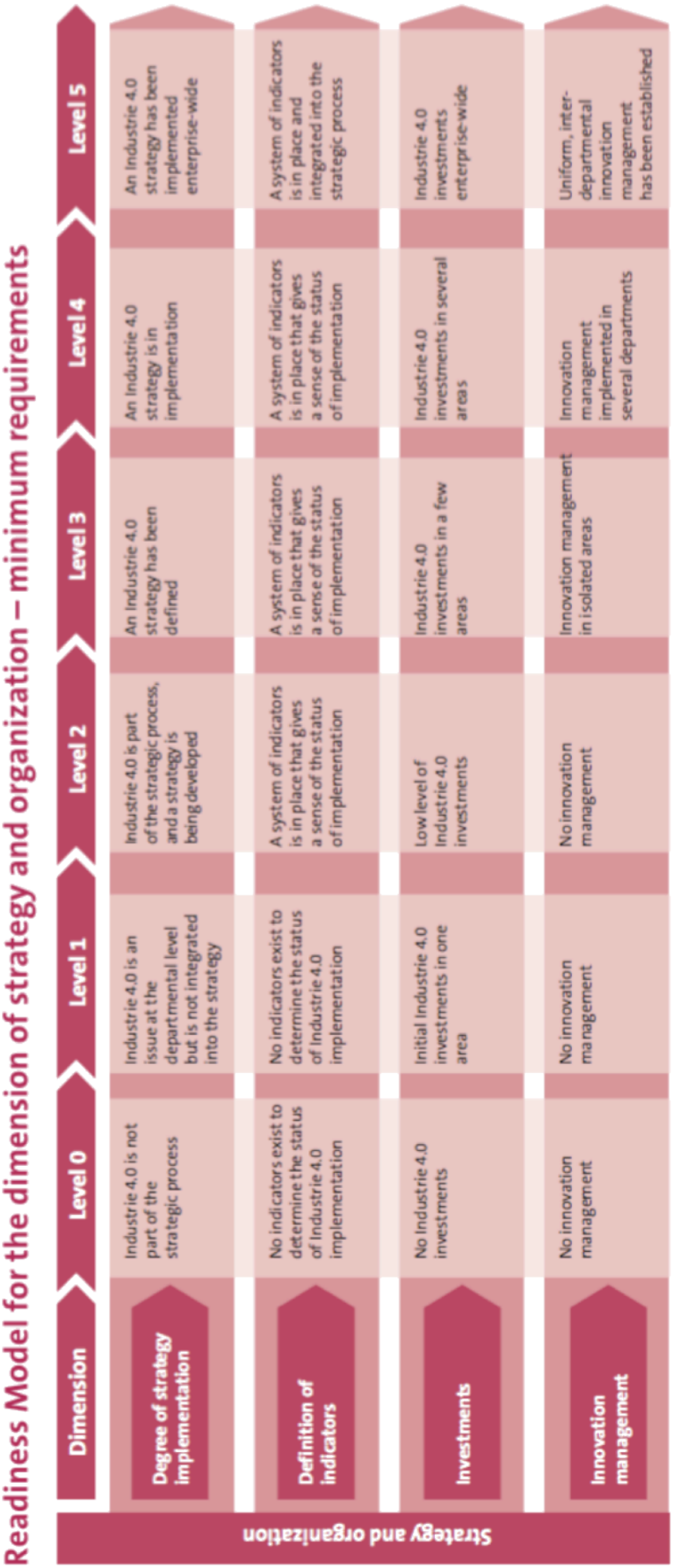


Figura 23 – Componentes da dimensão "estratégia e organização", modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

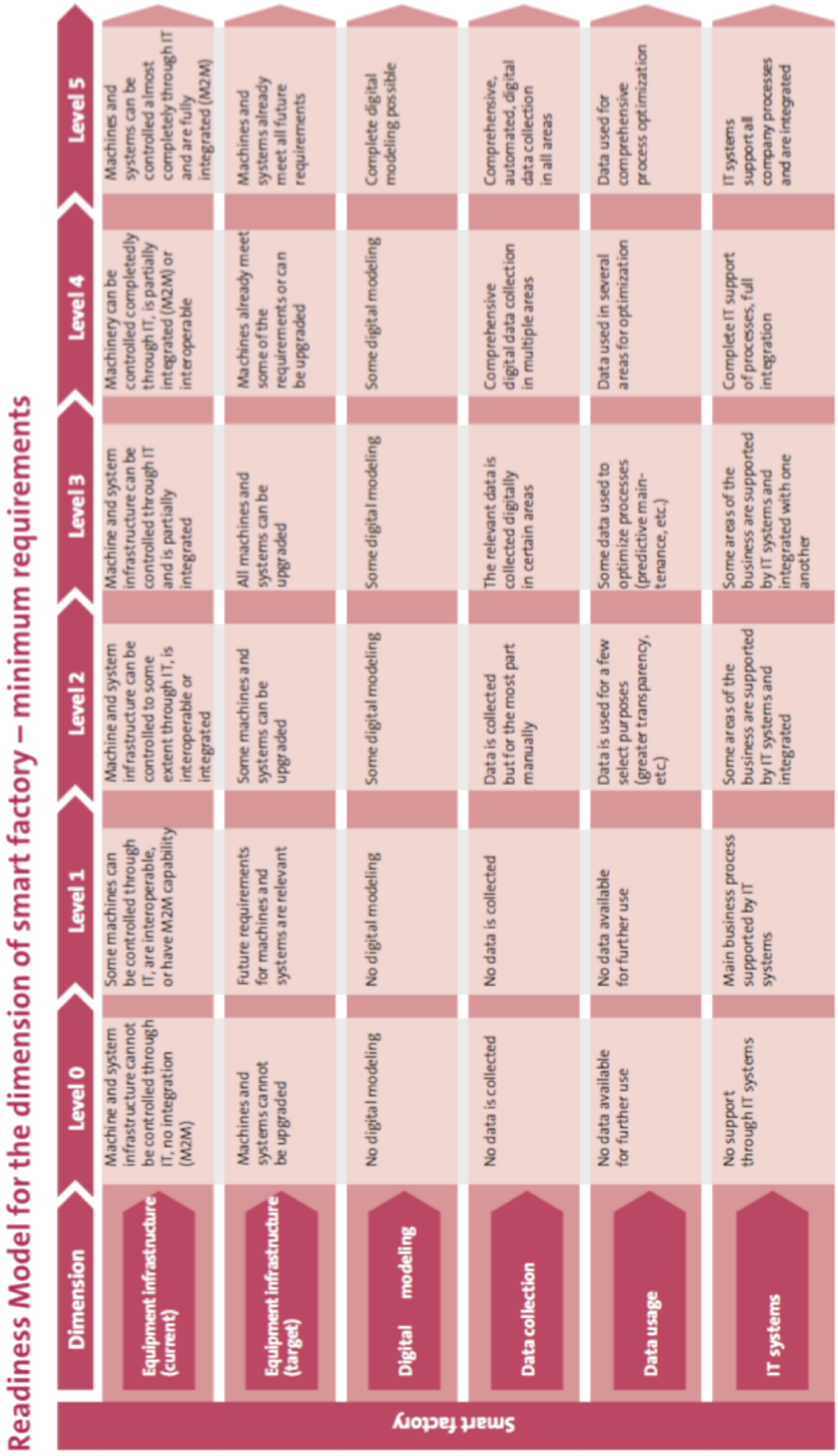


Figura 24 – Componentes da dimensão "fábrica inteligente", modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

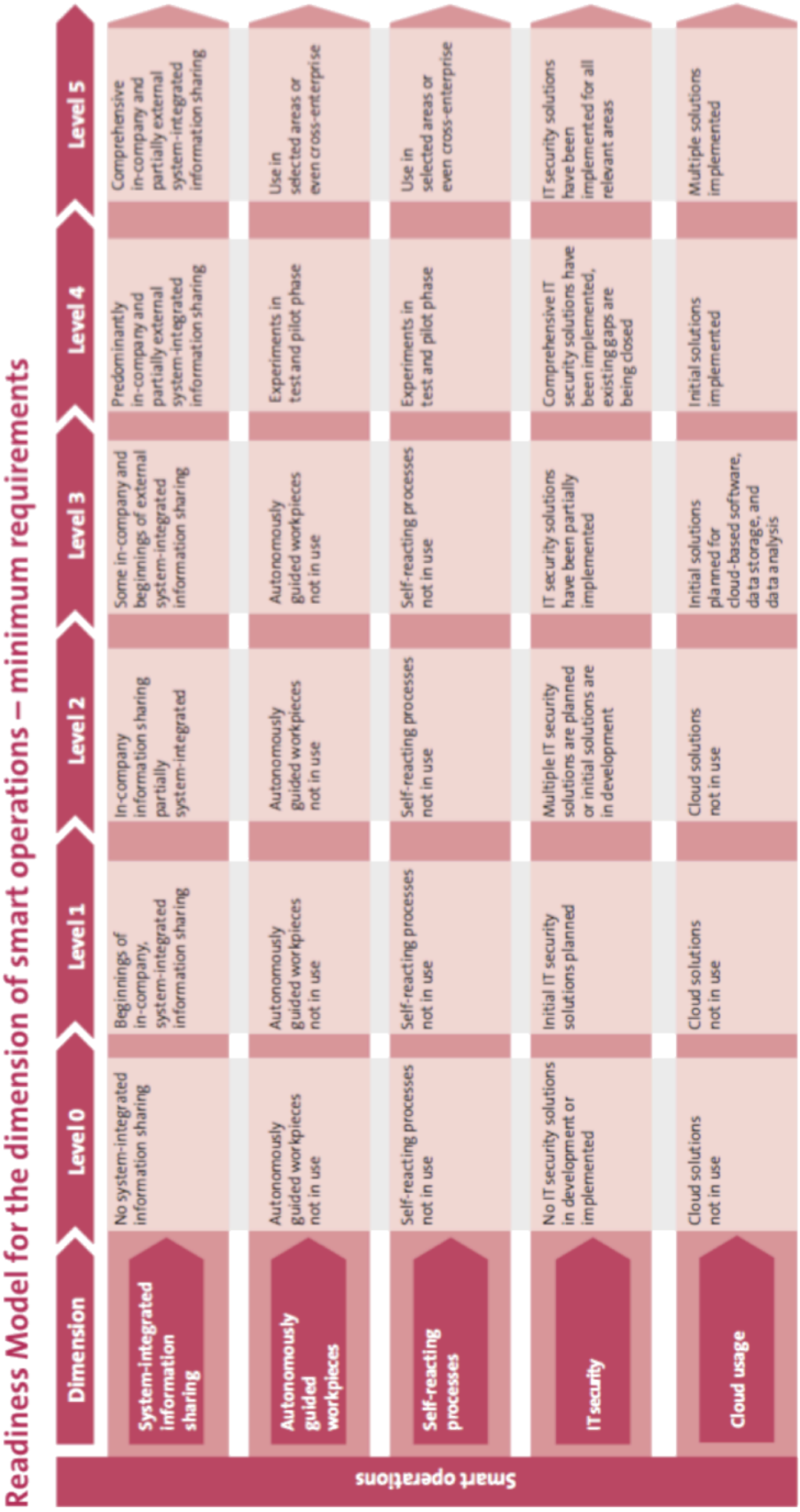


Figura 25 – Componentes da dimensão "operações inteligentes", modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

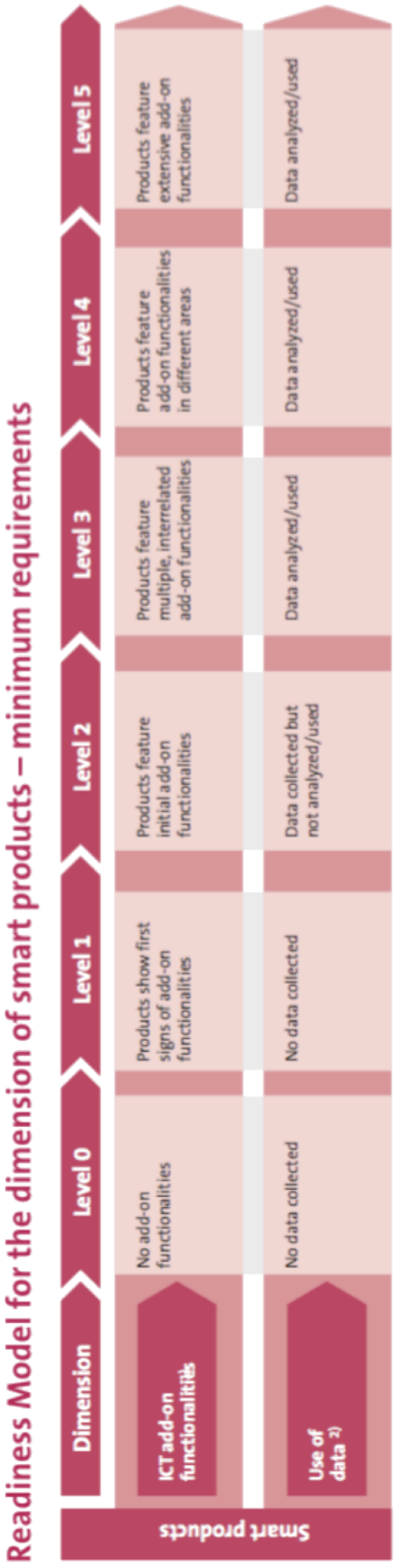


Figura 26 – Componentes da dimensão “produtos inteligentes”, modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

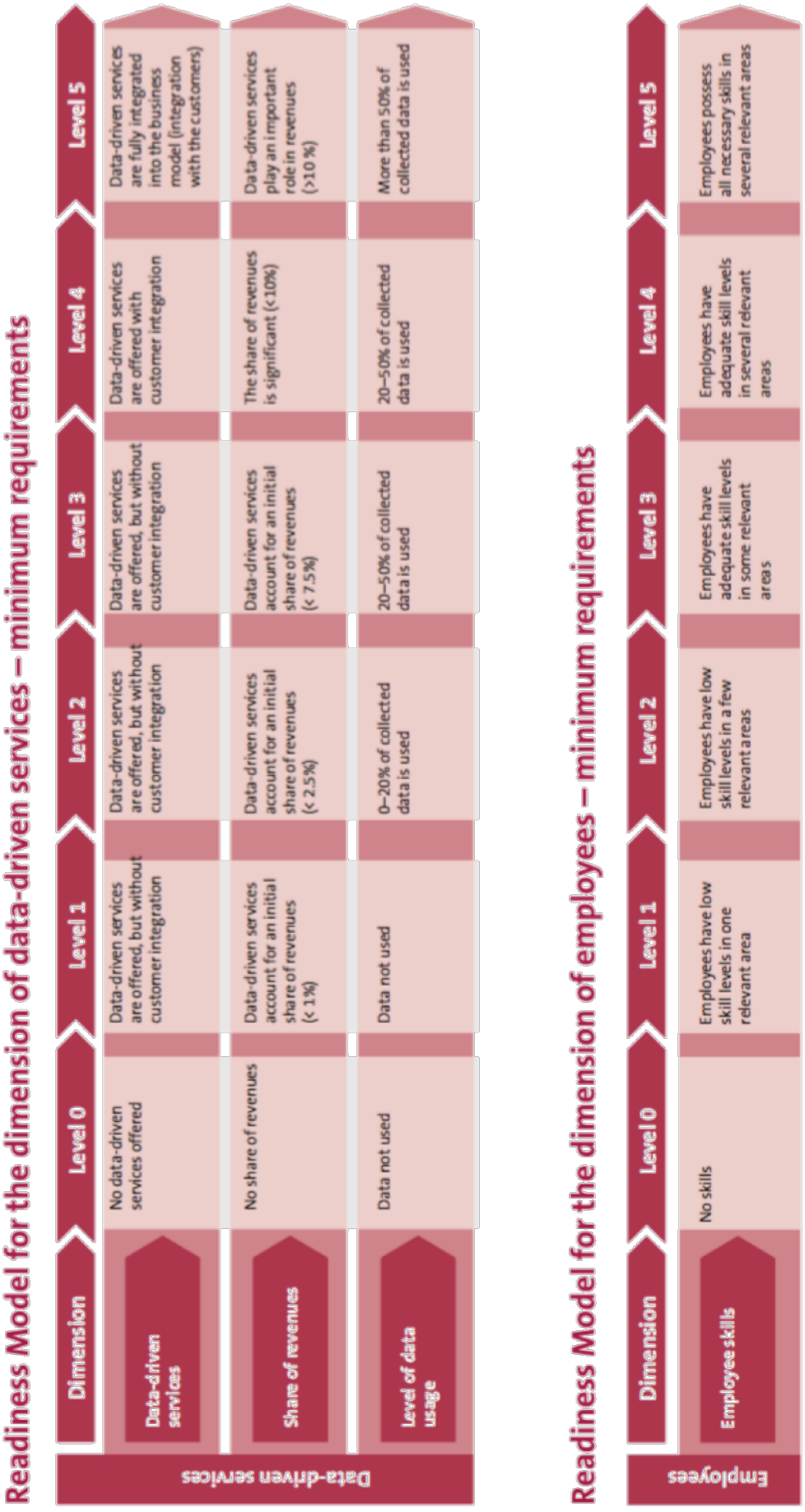


Figura 27 – Componentes das dimensões "serviços *data-driven*" e "colaboradores", modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

Anexo E: Resultados da aplicação do modelo *PwC – Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment*

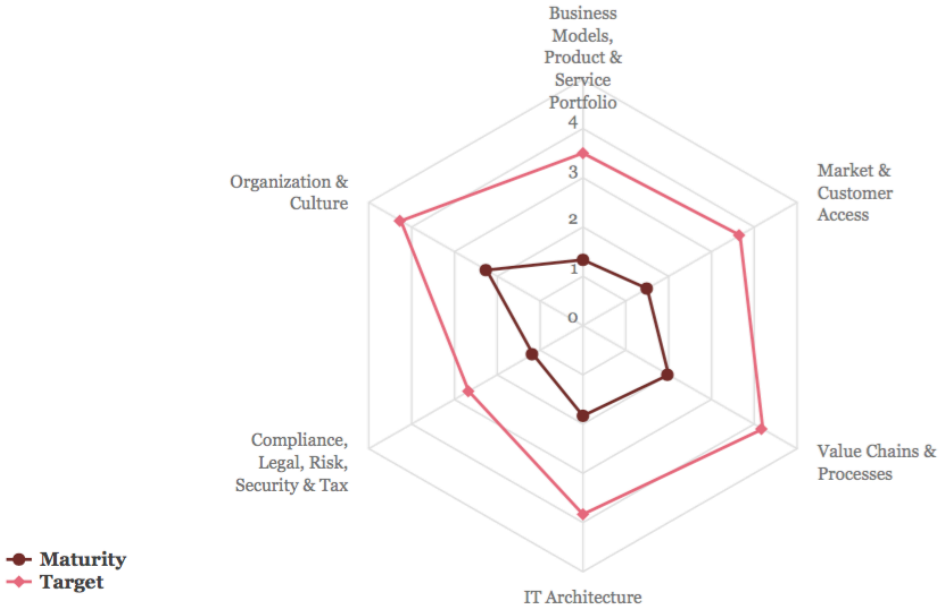


Figura 28 – Nível de maturidade atual e almejado nas diferentes dimensões do modelo *Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment*

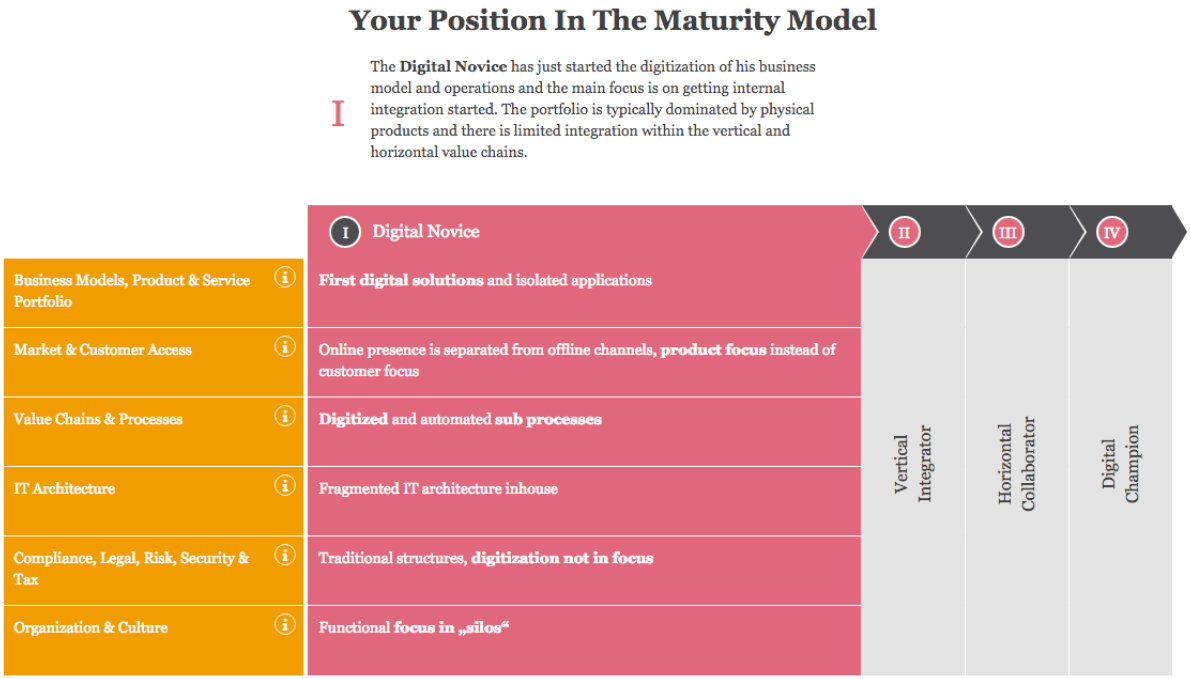


Figura 29 – Nível geral de maturidade atribuído pelo modelo *Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment*

Tabela 16 – Caracterização do estado de maturidade afeto a cada dimensão do modelo *Industry 4.0 / Digital Operations Self-Assessment*

Dimensão	Nível atual	Nível almejado	Descrição
"Business Models, Product & Service Portfolio"	1.33	3.5	○ A digitalização não é ainda considerada no modelo de negócios. ○ O retorno é feito apenas através de produtos físicos e serviços clássicos.
"Market & Customer Access"	1.5	3.67	○ Interação com o cliente é feita ao nível pessoal; ○ Força comercial não provida de equipamentos digitais.
"Value Chains & Processes"	2	4.2	○ As diferentes etapas da cadeia de valor são integradas uma a uma (ex: engenharia e produção); ○ Digitalização dos equipamentos já em curso.
"IT Architecture"	1.83	3.83	○ Implicações da Indústria 4.0 e digitalização de operações para as TI não clarificadas; ○ As tecnologias de informação encontram-se separadas da produção e as competências técnicas necessárias ainda não se encontram identificadas.
"Compliance, Legal, Risk, Security & Tax"	1.17	2.67	○ Gestão de conformidades, risco e segurança das TI não cumprem os requisitos para I4.0; ○ Ausência de uma abordagem estruturada para proteção da propriedade intelectual.
"Organization & Culture"	2.25	4.25	○ Digitalização das operações detém alguma atenção por parte dos responsáveis; ○ A necessidade da definição de uma estratégia já identificada e em desenvolvimento; ○ Recursos e capacidades já avaliados em concordância com os pressupostos de maturidade para I4.0.

Anexo F: Relatório da aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

IMPULS

Industrie 4.0-Readiness-Check
01.06.2017 15:43

Evaluation of Industry 4.0 Readiness Check

Thank you for taking the time to complete the VDMA Industry 4.0 Readiness Check. Your results and your comparison group are outlined below. We also highlight specific measures you can take to improve and expand your Industry 4.0 readiness.

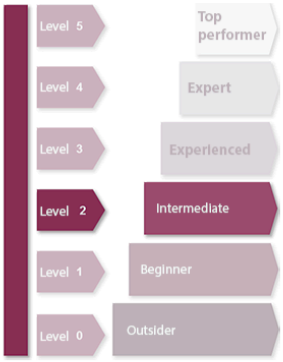
Overall evaluation

Your company is ranked at level 2 in the overall evaluation.

Your readiness scores in the six dimensions of Industry 4.0 are as follows:

- Strategy and organization: Level 2
- Smart factory: Level 2
- Smart operations: Level 2
- Smart products: Level 2
- Datadriven services: Level 1
- Employees: Level 3

Overall (weighted): 2.043 in keeping with level 2



The six dimensions are evaluated according to the numbers from the IMPULS study and are weighted as follows: Strategy and organization: 0.254, Smart factory: 0.143, Smart operations: 0.102, Smart products: 0.185, Data-driven services: 0.138, Employees: 0.179

Figura 30 – Página 1 do relatório de aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

IMPULS

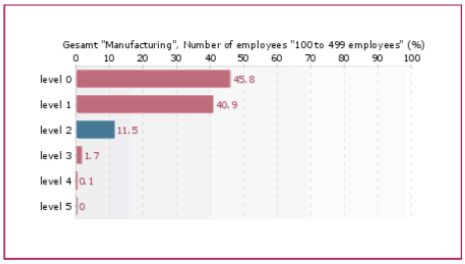
Industrie 4.0-Readiness-Check
01.06.2017 15:43

Detailed evaluation and action items

Continue to see detailed results and the next steps you should take to reach a higher level of Industry 4.0 readiness:

Comparison group "Manufacturing", Number of employees "100 to 499 employees"

Overall comparison



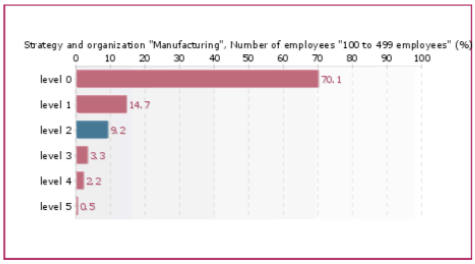
Your company has reached in the overall assessment level 2. In your comparison group, 11.5% of companies also reached this level (see chart).

Figura 31 – Página 2 do relatório de aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

IMPULS

Industrie 4.0-Readiness-Check
01.06.2017 15:43

Strategy and organization



Your company has reached in dimension Strategy and organization level 2. In your comparison group, 9.2% of companies also reached this level (see chart).

You can take the following actions to improve your readiness in this dimension:

Industry 4.0 is already being implemented in departmental pilot initiatives, but the strategic relevance is lacking. Develop a viable Industry 4.0 strategy.

Your company does not yet have any indicators in place to measure your Industry 4.0 implementation status. The next step is to introduce a system of indicators to further implement Industry 4.0 in your company.

You are ready for Industry 4.0 when it comes to your investment budget. You are investing in Industry 4.0 in at least five areas, which means you are providing important financial resources to successfully implement Industry 4.0. You have maximized your potential in this area.

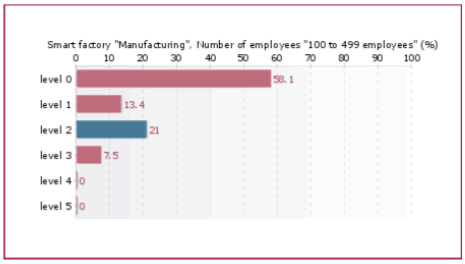
You have a technology and innovation management system in one area. To increase your Industry 4.0 readiness, you should gradually introduce it in other areas with the goal of integrating all areas.

Figura 32 – Página 3 do relatório de aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

IMPULS

Industrie 4.0-Readiness-Check
01.06.2017 15:43

Smart factory



Your company has reached in dimension Smart factory level 2. In your comparison group, 21% of companies also reached this level (see chart).

You can take the following actions to improve your readiness in this dimension:

Look into the potential of integrating your current systems into your IT infrastructure and take this factor into account when purchasing new systems. It may also be advisable to check whether your current systems can be upgraded.

Develop concepts for pilot projects and draw up a cost–benefit analysis based on existing use cases from research or industry associations.

You are already engaging in comprehensive data collection in your company. Continually improve your data collection and review your corresponding system of indicators and targets.

Check the extent to which the data already collected can be linked in order to obtain new information from the interrelationships. Research projects may provide an incentive here. Also examine the extent to which the data collection can be further automated.

Quantify the benefit of the data collection and run CIP activities.

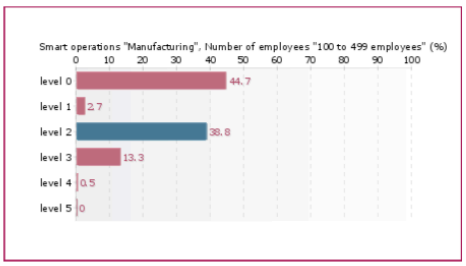
Check whether more interfaces can optimize your order processing by linking systems. Also check which systems can accelerate your order processing.

Figura 33 – Página 4 do relatório de aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

IMPULS

Industrie 4.0-Readiness-Check
01.06.2017 15:43

Smart operations



Your company has reached in dimension Smart operations level 2. In your comparison group, 38.8% of companies also reached this level (see chart).

You can take the following actions to improve your readiness in this dimension:

Information sharing is already taking place internally in several departments as well as externally. Run an analysis to determine where bottlenecks exist between systems and whether further potential can be leveraged by integrating external information sharing with customers or suppliers into the system. This can take the form of a cost–benefit analysis of the solution to be implemented, for example.

You already have use cases for autonomous control in the testing and pilot phase and already have some experience with this issue. Run an analysis to determine which areas may benefit from this. Partnering with other companies or sharing knowledge with research institutions may help you define additional use cases and profit from the knowledge you have already gained.

Self-reacting processes already exist in selected areas. Use the opportunity to gather experience and implement self-reacting processes in additional areas.

You are currently planning to implement or are already implementing IT security solutions. Define the areas in which IT security solutions are needed.

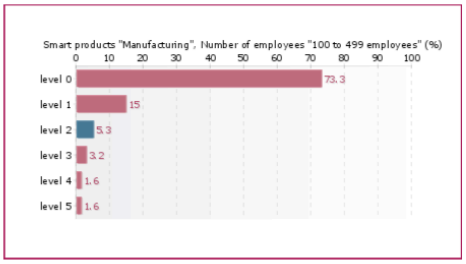
Your focus so far has been on planning for the use of a cloud solution. Sharing with other companies and research institutions can help you define additional use cases and profit from the experience you have already gained.

Figura 34 – Página 5 do relatório de aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

IMPULS

Industrie 4.0-Readiness-Check
01.06.2017 15:43

Smart products



Your company has reached in dimension Smart products level 2. In your comparison group, 5.3% of companies also reached this level (see chart).

You can take the following actions to improve your readiness in this dimension:

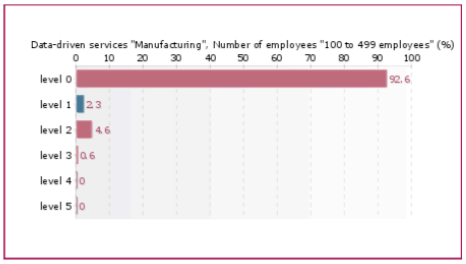
Your products already feature extensive ICT add-on functionalities, making them ready for Industry 4.0.

Figura 35 – Página 6 do relatório de aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

IMPULS

Industrie 4.0-Readiness-Check
01.06.2017 15:43

Datadriven services



Your company has reached in dimension Datadriven services level 1. In your comparison group, 2.3% of companies also reached this level (see chart).

You can take the following actions to improve your readiness in this dimension:

Your company already offers product-based services. To enhance your Industry 4.0 readiness, you should invest in integrating your customers in order to optimize the services you offer. This would make it possible for you to offer your customers better, more personalized services.

Your company already offers a very high availability of data-driven services. That means your company has all the skills it needs in the dimension of data-driven services to successfully implement Industry 4.0.

Your company does not yet use any data to develop product-based services. To successfully implement Industry 4.0, you should use the data available to you to develop services that will allow you to offer your customers better, more personalized service.

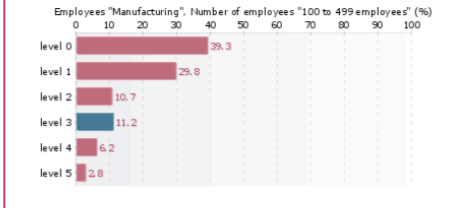
7 / 9

Figura 36 – Página 7 do relatório de aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

IMPULS

Industrie 4.0-Readiness-Check
01.06.2017 15:43

Employees



Your company has reached in dimension Employees level 3. In your comparison group, 11.2% of companies also reached this level (see chart).

You can take the following actions to improve your readiness in this dimension:

Your employees have the skills needed to successfully implement Industry 4.0 in some relevant areas. That's why it's important to expand and improve the skills in other areas (such as IT infrastructure, automation technology, data analytics, data and communications security, development and application of assistance systems, collaboration software).

Figura 37 – Página 8 do relatório de aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

Imprint

IMPULS Foundation

The IMPULS Foundation of the German Engineering Federation (VDMA)

Lyoner Str. 18
60528 Frankfurt, Germany
Internet: www.impuls-stiftung.de
Vorsitzender: Dr. Thomas Lindner
Geschäftsführender Vorstand: Dr. Johannes Gernandt, Stefan Röger

IW Consult

Konrad-Adenauer-Ufer 21
50668 Köln, Germany
Phone: +49 (0)221 4 98 17 58
E-mail: info@iwconsult.de
Web: www.iwconsult.de
Authorized Representatives:
Dr. Karl Lichtblau, Peter Schützdeller
Commercial register: HR Cologne - HRB 30889
VAT ID: DE197824529

Institute for Industrial Management (FIR) at RWTH Aachen

Campus-Boulevard 55
52074 Aachen, Germany

Phone: +49 241 47705-0
Fax: +49 241 47705-199
E-mail: info@fir.rwth-aachen.de

Managing Director:
Prof. Dr.-Ing. Volker Stich
Authorized Representative:
Dipl.-Ing. Ingo Kufferath-Kaßner (Chair)

VAT ID.: DE 121 684 389
Court of registration: Aachen District Court, registration no.: VR1191

Figura 38 – Página 9 do relatório de aplicação do modelo IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*

Anexo G: Terceiro cenário de melhoria

O terceiro cenário de melhoria corresponde à implementação de uma proposta de "Rodagem automática do cabeço" em paralelo com os requisitos considerados no segundo cenário. Esta, não constitui um requisito fundamental para a implementação do sistema I4.0. De seguida, apresenta-se uma descrição da melhoria proposta, bem como do impacto resultante da sua implementação nos mecanismos de produção da empesa.

Rodagem automática do cabeço

A introdução de um mecanismo de "rodagem automática do cabeço" pressupõe a realização automática das rotações dos suportes de acoplação dos acessórios de maquinagem.

As rodagens manuais dos mecanismos de suporte das ferramentas, utilizadas nos diversos micro processos de maquinagem, são responsáveis por uma porção considerável dos tempos afetos a configurações.

A introdução desta melhoria mecânica permitiria um desempenho rápido e constante, aquando da necessidade de reposicionamento da ferramenta.

Terceiro cenário de melhoria

A Tabela 17 é elucidativa das melhorias consideradas no presente cenário de melhoramento dos equipamentos.

Tabela 17 – Melhorias consideradas no terceiro cenário

Cenário	Melhorias aplicadas
Terceiro cenário	✓ *Correção do desgaste mecânico* ✓ *Rodagem automática do cabeço* ✓ *Comando numérico: pré programação e armazenamento*

Dados do cenário

Na Tabela 18 são apresentados os dados relativos às melhorias assumidas no desenvolvimento do atual cenário.

Tabela 18 – Percentagens de redução dos tempos de configuração no terceiro cenário de melhoria

Tipo de configuração	Percentagem de redução
Troca de ferramenta	**-71%**
Ajustar e verificar a estrutura	**-16%**
Rodagem do cabeço	**-100%**
Rodagem de ferramenta	**-100%**
Tirar zeros	0%
Limpeza	**-100%**

Podemos verificar que a incorporação de uma rotação mecânica automatizada dos cabeços das máquinas, responsáveis pela acoplação das ferramentas produtivas, possibilitam a completa eliminação dos tempos afetos às rubricas de configuração "Rodagem do cabeço" e "Rodagem de ferramenta".

Impacto

A Tabela 19 é exemplificativa das reduções totais nos tempos de configuração ("*SetUp*") e nos tempos globais de execução ("*Lead Time*") associados à implementação das melhorias admitidas.

Tabela 19 – Percentagens de redução no terceiro cenário de melhoria

SetUp	**-48%**
Lead Time	**-13%**

A implementação conjunta das melhorias mecânicas consideradas com a capacidade de pré programação dos comandos numéricos dos equipamentos é capaz de proporcionar uma redução de, aproximadamente, 50% no tempo total necessário para configuração, quando em comparação com o panorama atual de produção. No que toca ao tempo total produtivo necessário, observamos uma redução na ordem dos 13%.

Evolução

A evolução proporcionada pela inclusão das melhorias associadas a este cenário é semelhante à elucidada para o segundo.

A incorporação das rodagens automáticas referidas contribui para um importante ganho operacional, na medida em que permite a eliminação total dos tempos atualmente necessários à realização desta tarefa. A nível da vertente de Indústria 4.0, este melhoramento não providencia uma evolução significativa no que diz respeito à monotorização, controlo e planeamento dos procedimentos produtivos.

Anexo H: Medidas de ação do modelo IMPULS - *Industrie 4.0 Readiness*

Fonte dos dados: https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en

Figure 4-3: Action items for newcomers (readiness levels 0 and 1)

I4.0 dimensions	Strategy & organization	Smart factory	Smart operations	Smart products	Data-driven services	Employees
Current main hurdles (from Readiness Model)	▪ Industrie 4.0 plays little or no role in the strategic orientation	▪ Equipment infrastructure not connected to higher-level IT systems ▪ Machine and process data not collected	▪ Little or no in-company, system-integrated information sharing	▪ Products feature little or no ICT add-on functionalities	▪ Focus on traditional products; data-driven services either not offered or not integrated with customers	▪ Little or no Industrie 4.0–specific employee skill sets
Obstacles	▪ Uncertainty about economic benefit ▪ General uncertainty about I4.0			▪ No market need ▪ Lack of skills		
Action items	▪ Create awareness for I4.0 ▪ Define strategies	▪ Gradually connect equipment infrastructure to higher-level IT systems	▪ Plan initial steps for in-company and external system-integrated information sharing	▪ Analyze potential of ICT add-on functionalities	▪ Realign product portfolio ▪ Define data-driven services	▪ Run systematic needs assessment ▪ Adapt training and professional development programs

Figura 39 – IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*: Medidas de ação para níveis 0 e 1

Figure 4-4: Action items for learners (readiness level 2)

I4.0 dimensions	Strategy & organization	Smart factory	Smart operations	Smart products	Data-driven services	Employees
Current main hurdles (from Readiness Model)	▪ Industrie 4.0 is part of the strategic process, but a specific strategy has not yet been defined	▪ Equipment infrastructure not fully linked to IT systems ▪ Limited capacity to upgrade equipment infrastructure	▪ No initial steps toward system-integrated information sharing with external partners	▪ Collected data not analyzed or used to optimize products or processes (product development, sales support, after-sales)	▪ Data usage level of 20–50% not yet achieved	▪ Industrie 4.0–specific skill sets not yet adequate in some key areas
Obstacles	▪ Uncertainty about economic benefit ▪ General uncertainty about I4.0			▪ No market need ▪ Lack of skills		
Action items	▪ Define and implement a strategy	▪ Plan and install IT-integrated equipment infrastructure	▪ Expand system-integrated information sharing both in-company and externally	▪ Systematically analyze potential uses of collected data	▪ Increase level of data usage ▪ Create more data-driven services	▪ Run systematic needs assessment ▪ Adapt training and professional development programs

Figura 40 – IMPULS – *Industrie 4.0 Readiness*: Medidas de ação para nível 2