

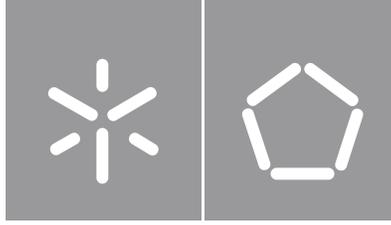


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Joana Filipa Vilas Boas Monteiro

**Uma contribuição para o desenvolvimento de estratégias de Retrofitting para equipamentos da Indústria Têxtil e Vestuário no âmbito da Indústria 4.0**





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Joana Filipa Vilas Boas Monteiro

**Uma contribuição para o desenvolvimento  
de estratégias de Retrofitting para  
equipamentos da Indústria Têxtil e  
Vestuário no âmbito da Indústria 4.0**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho realizado sob a orientação de  
Professor Doutor Goran Putnik  
Professora Doutora Cátia Alves

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição-NãoComercial-SemDerivações**

**CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Chegado o término de mais um objetivo realizado, quero agradecer a todas as pessoas e entidades que contribuíram e auxiliaram para a realização do mesmo.

Em primeiro lugar, um especial obrigada ao Professor Doutor Goran Putnik pela orientação, disponibilidade e conhecimento transmitido. A sua visão futurista e inovadora foi crucial para alcançar os objetivos do projeto.

À Doutora Cátia Alves, pela sua disponibilidade, apoio, motivação e revisão crítica que contribuiu para o progresso de todo o projeto.

Um agradecimento ao CITEVE, em particular aos Engenheiros João Oliveira e Júlio Sá pelo conhecimento e apoio conduzido durante o estágio.

Por fim, um obrigada à minha família e amigos que sempre me apoiaram e acreditaram nas minhas capacidades ao longo destes anos. Sem dúvida, foram muito importantes para a conclusão desta etapa.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

# **Uma contribuição para o desenvolvimento de estratégias de *Retrofitting* para equipamentos da Indústria Têxtil e Vestuário no âmbito da Indústria 4.0**

## **RESUMO**

Atualmente as pequenas e médias empresas (PMEs) representam uma parte importante do desenvolvimento económico e geração de empregos. A migração para um novo paradigma da Indústria 4.0 (I4.0) permite-lhes garantir um lugar atual e futuro num mercado competitivo. Porém, a I4.0 é muitas vezes vista como uma dificuldade em vez de uma oportunidade. Para desafiar esta visão, é feita uma revisão bibliográfica dos temas da área da I4.0 que poderá servir como apoio às empresas da Indústria Têxtil e Vestuário (ITV) no processo de transição para a I4.0. De modo a fazer a ponte entre as empresas e o eletrónico desenvolveu-se uma estratégia de *Retrofitting* para os equipamentos mais relevantes da ITV, um modelo que as empresas possam seguir para desenvolver e atingir novas capacidades na manufatura inteligente. Ao longo desta dissertação foram identificados e abordados requisitos de *software* e *hardware*, onde estão incluídos os sensores e plataformas da *Internet of Things* (IoT). Considerando a IoT como uma tecnologia disruptiva, impulsionadora da I4.0, ela é usada eficazmente na análise inteligente de dados fornecidos ao longo de um sistema de produção de modo a aumentar a eficiência de todo o sistema e reduzir custos. Esses dados convertidos em indicadores chave de desempenho (KPIs) associados às várias áreas de gestão da empresa podem ser visualizados através de diversos *dashboards*. Comparando essa informação com os objetivos traçados pela empresa, torna-se possível avaliar quantitativamente se tais objetivos foram atingidos e quais as alterações a efetuar, promovendo uma melhoria de todo o sistema. Este trabalho poderá ainda permitir às empresas da ITV iniciar o caminho estratégico da I4.0 sem necessidade de realizar investimentos relativamente elevados, diminuindo assim o risco deste tipo de transição. No que respeita à metodologia de validação, a mesma realizou-se por meio de reuniões com técnicos dos equipamentos considerados mais relevantes da ITV, no Centro Tecnológico Têxtil e Vestuário (CITEVE), localizado no norte de Portugal.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Indústria 4.0, *Internet of Things*, *Retrofitting*, Sensores

# **A contribution to retrofitting strategy development for Textile Industry equipments in the context of Industry 4.0**

## **ABSTRACT**

Nowadays, small and medium-sized enterprises (SMES) represent an important part of the economic development and job creation. The migration to a new paradigm called Industry 4.0 (I4.0) allows them to ensure a present and future place in a competitive market. However, I4.0 is commonly seen as a challenge rather than an opportunity. To defy this, an I4.0 bibliographic review is made to support Textile and Clothing Industry companies in the process of transitioning to I4.0. In order to make the connection between companies and electronics, a *Retrofitting* strategy was developed for the most relevant equipment of Textile and Clothing's sector. A model which companies can follow to develop and achieve new capabilities in Intelligent manufacturing. In this dissertation, software and hardware requirements were identified and discussed, including IoT sensors and platforms. Considering IoT as a disruptive technology, driving I4.0, it is used effectively in analyzing data across a production system. The purpose is to increase efficiency of the entire system and to reduce costs. This data converted into key performance indicators (KPIs) associated to the several management areas in the company can be visualized through different types of dashboards. By comparing this information with the goals defined by the company, one can more objectively evaluate whether the KPIs were achieved and what changes need to occur, fostering a improvements throughout the system. This work can also allow the ITV companies to kick-off the I4.0 strategic path without having to make relatively large investments, reducing the risk of this type of transition. Regarding the validation methodology, it was carried out through interviews with technicians of the equipment considered more relevant the ITV sector, with support of Centro Tecnológico Têxtil e Vestuário (CITEVE), located in the north of Portugal.

## **KEYWORDS**

Industry 4.0, Internet of Things, Retrofitting, Sensors

# ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	x
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tabelas .....	xiv
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento do tema.....	1
1.2. Justificativa e Objetivos .....	2
1.3. Metodologia.....	2
1.4. Estrutura do Trabalho .....	3
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1 Indústria 4.0.....	5
2.1.1 Arquitetura da Indústria 4.0 .....	6
2.1.2 Tecnologias Disruptivas - Rutura de Padrões .....	8
2.1.3 Sistemas Cíber Físicos.....	10
2.1.4 Digitalização e Criação de valor.....	11
2.2 Internet das Coisas.....	12
2.2.1 Caraterísticas de IoT .....	13
2.2.2 Principais aplicações e desafios de IoT.....	15
2.2.3 Internet das Coisas Industrial.....	16
2.2.4 Solução geral de IoT .....	17
2.2.4.1 Arquitetura de IoT .....	18
2.2.4.2 Protocolos de dados de IoT .....	18
2.2.4.3 Plataformas de IoT.....	19
2.2.4.4 Comparação de plataformas .....	23
2.2.5 Sucesso de projetos de IoT .....	23
2.3 Visualização de dados e KPIs em Dashboards.....	25

2.3.1 Telemetria .....	26
2.3.2 Indicadores de desempenho .....	26
2.3.3 <i>Dashboards</i> .....	28
2.4 Monitorização, controlo e sensorização .....	30
2.4.1 <i>Smart Objects</i> .....	31
2.4.2 Sensores .....	35
2.4.3 Exemplos de Sensores para Microcontroladores, <i>Raspberry Pi</i> e <i>Arduino</i> .....	37
2.5 <i>Retrofitting</i> para a Indústria 4.0.....	41
2.5.1 Definição .....	41
2.5.2 Abordagem ao <i>Retrofitting</i> .....	43
2.5.2.1 <i>Retrofitting</i> as a Service.....	43
2.5.2.2 <i>Remote Terminal Units</i> .....	44
2.5.2.3 <i>Retrofitting Factory</i> .....	45
2.5.3 Etapas para uma Estratégia de <i>Retrofitting</i> .....	47
2.5.4 <i>Programmable Logic Controller</i> .....	49
2.5.5 Benefícios.....	49
3. Estratégia de <i>Retrofitting</i> .....	52
3.1 Avaliação da máquina.....	53
3.1.1 A máquina e as suas principais características.....	53
3.1.2 Ciclo de vida da máquina.....	54
3.1.3 Avaliação da condição e estado atual da máquina .....	56
3.1.4 Breve descrição do processo associado.....	57
3.2 Identificação de quais os dados a extrair .....	58
3.2.1 Parâmetros de <i>setup</i> da máquina .....	58
3.2.2 Parâmetros de controlo do processo .....	59
3.2.3 Falhas e problemas mais comuns da máquina.....	61
3.3 Avaliação dos objetivos dos <i>stakeholders</i> envolvidos.....	63
3.3.1 Necessidades, requisitos e critérios para áreas de Gestão .....	63
3.3.2 Principais KPIs para cada área de Gestão .....	67

3.4	Extração e visualização dos dados.....	76
3.4.1	Identificação de novas tecnologias para extração dos dados .....	76
3.4.2	<i>Dashboards</i> e plataformas para visualização e gestão de dados.....	78
3.5	Integração na máquina das novas tecnologias.....	80
3.5.1	Ligação à máquina .....	80
3.5.2	Novas funcionalidades de monitorização e controlo .....	82
3.6	Comparação do desempenho da máquina inicial e retrofitada .....	83
4	Avaliação das prioridades para <i>Retrofitting</i> das máquinas selecionadas .....	86
4.1	Metodologia de avaliação .....	86
4.1.1	Entrevistas.....	86
4.1.2	Correspondência entre parâmetros a controlar e áreas de Gestão.....	87
4.1.3	Matriz e atribuição do grau de importância.....	90
4.2.	Avaliação das matrizes .....	93
5.	Conclusões .....	96
6.	Referências Bibliográficas .....	97
	APÊNDICE I – FTA Equipamentos ITV .....	101

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS**

AWS- *Amazon Web Services*  
BCG- *Boston Consulting Group*  
BPM- *Business Process Management*  
CNC- *Controlo Numérico Computorizado*  
CPPS- *Cyber-Physical Production System*  
CPS- *Cyber Physical Systems*  
CPU- *Central Processing Unit*  
ERP- *Enterprise Resource Planning*  
FTA- *Fault Tree Analysis*  
GC- *Gestão Comercial*  
GE- *General Electric*  
GM- *Gestão da Manutenção*  
GP- *Gestão da Produção*  
GQ- *Gestão da Qualidade*  
GS- *Gestão da Sustentabilidade*  
HMI- *Human Machine Interface*  
IBM- *International Business Machines Corporation*  
ICT- *Information and Communications Technologies*  
IEEE- *Institute of Electrical and Electronics Engineers*  
IIC- *Industrial Internet Consortium*  
IIoT- *Industrial Internet of Things*  
IoT- *Internet of Things*  
IOsl- *Internet of Smart Industry*  
ITU- *International Telecommunication Union*  
ITV- *Indústria Têxtil e Vestuário*  
JSON- *Java Script Object Notation*  
LCD- *Liquid Crystal Display*  
LED- *Light Emitting Diode*  
MTBF- *Mean Time Between Failures*  
MTTR- *Mean Time to Repair*  
MIS- *Management Information System*

MIT- *Massachusetts Institute of Technology*  
MQTT- *Message Queuing Telemetry Transport*  
OEE- *Operational Equipment Effectiveness*  
PIB- *Produto Interno Bruto*  
PIR- *Passive Infrared Sensor*  
PLC- *Programmable Logic Controller*  
PnP- *Plug and Play*  
PwC- *PricewaterhouseCoopers*  
TI- *Tecnologias de Informação*  
UE- *União Europeia*  
RAM- *Random Access Memory*  
RaaS- *Retrofitting as a Service*  
RTU- *Remote Terminal Units*  
SCADA- *Supervisory Control and Data Acquisition*  
VA- *Valor Agregado*  
WSN- *Wireless Sensor Network*

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- As quatro Revoluções Industriais [adaptado de: (Samir et al., 2018)] .....	5
Figura 2- Conceito de integração da I4.0 [adaptado de: (Junior et al., 2019)].....	6
Figura 3- Reference Architecture Model for Industrie 4.0 (Plattform Industrie 4.0, 2015) .....	7
Figura 4- Investimentos em tecnologias disruptivas [adaptado de: (Fernandes, 2018)] .....	9
Figura 5- Convergência de mundo físico e virtual (Samir et al., 2018).....	10
Figura 6- CPSS para uma máquina de torno mecânico (Berger et al., 2016).....	11
Figura 7- Digitalização e Indústria 4.0 [adaptado de: (Silva & Barbalho, 2019)].....	12
Figura 8- Internet of Things [adaptado de: (Patel et al., 2016)] .....	13
Figura 9- Robot colaborativo numa Smart Mini Factory (Matt et al., 2020) .....	14
Figura 10- A IoT: Diferentes aplicações, tecnologias e significados (Vermesan & Friess, 2014) .....	15
Figura 11- Industrial Internet (General Electric, n.d.).....	16
Figura 12- Solução geral de IoT (Douzis et al., 2018).....	17
Figura 13- Arquitetura de IoT [adaptado de: (Patel et al., 2016)].....	18
Figura 14- Características Thingsboard [adaptado de: (Thingsboard, n.d.)] .....	20
Figura 15- Exemplo do node-RED a correr no Thingsboard .....	21
Figura 16- Casos de uso de AWS IoT na indústria.....	22
Figura 17- Principais KPIs em quatro áreas de manufatura [adaptado de: (Pradhan, 2015)] .....	27
Figura 18- Classificação por níveis de Dashboards [adaptado de: (Gröger et al., 2013)] .....	28
Figura 19- Objetos para monitorização, sensorização e controlo [adaptado de: (González García et al., 2017)].....	31
Figura 20- Atributos dos Smart Objects [adaptado de: (T. López et al., 2011)] .....	31
Figura 21- Raspberry Pi 4 Modelo B.....	33
Figura 22- Arduino Arduino Nano 33 IoT .....	34
Figura 23- Arquitetura IoT end-to-end (Sheng et al., 2015).....	36
Figura 24- Processo de Retrofitting [adaptado de: (Ehrlich et al., 2015)] .....	42
Figura 25- Arquitetura do RaaS [adaptado de: (Ehrlich et al., 2015)].....	44
Figura 26- Equipamento industrial legado e equipamento industrial legado retrofitado + Smart RTU respetivamente (Moctezuma et al., 2012) .....	45
Figura 27- Diretriz para aplicação do conceito de Retrofitting (Franke et al., 2020).....	48

Figura 28- Esquema de um controlo de processo via PLC [adaptado de: (Grams & Cetnarowski, 2014)]	49
.....	
Figura 29- ROI de um Financial Dashboard (GE Fanuc, n.d.)	51
Figura 30- Diagrama para uma estratégia de Retrofitting	52
Figura 31- Exemplo de um diagrama de contexto da máquina	54
Figura 32- Fases do ciclo de vida de uma máquina [adaptado de: (Plattform Industrie 4.0, 2015)].	55
Figura 33- Processo de fabrico da máquina.....	57
Figura 34- Tipos de Falhas [adaptado de: (Assis, 2014)]	61
Figura 35- Exemplo FTA de uma máquina.....	62
Figura 36- Exemplos da distribuição de causas de falhas mais comuns de uma máquina	63
Figura 37- Requisitos sensores industriais definidos para uma solução de IoT	78
Figura 38- Exemplo de um dispositivo de sensor de retrofit (Bosch, n.d.)	81
Figura 39- Esquema cenário para medição da temperatura de uma máquina	82
Figura 40- Diagrama sequencial de um cenário possível de monitoramento da máquina.....	83
Figura 41- Benefícios chave da nova solução apresentada.....	84
Figura 42- Percentagem de interesse de área de gestão por tipo de equipamento.....	93
Figura 43- Grau de Interesse de KPIs no Tear	94
Figura 44- Grau de Interesse de KPIs no Jet.....	94
Figura 45- Grau de Interesse de KPIs na Râmula.....	95
Figura 46- FTA Tear.....	101
Figura 47- FTA Máquina de Estampar	101
Figura 48- FTA Jet	102
Figura 49- FTA Râmula.....	102

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Alguns protocolos de comunicação de IoT [adaptado de: (Atlam et al., 2018)] .....	19
Tabela 2- Oportunidades de IoT [adaptado de: (Fernandes, 2018)] .....	25
Tabela 3- Especificações técnicas Raspberry Pi 4 Modelo B.....	33
Tabela 4- Especificações técnicas Arduino Nano 33 IoT.....	35
Tabela 5 - Exemplos de tipos de sensores [adaptado de: (T. López et al., 2011)] .....	35
Tabela 6- Caraterísticas do sensor de temperatura e humidade DHT11 .....	37
Tabela 7- Caraterísticas do sensor de fumo e gases tóxicos MQ-135.....	38
Tabela 8- Caraterísticas do Sensor ultrassónico HC-SR04.....	38
Tabela 9- Caraterísticas PIR HC-SR501 .....	39
Tabela 10- Caraterísticas Sensor de obstáculo infravermelho CI LM393.....	39
Tabela 11- Caraterísticas sensor de pressão MD-PS002 .....	40
Tabela 12- Caraterísticas Sensor de Efeito Hall 32344E .....	40
Tabela 13- Caraterísticas do sensor de cor TCS3200 .....	41
Tabela 14- Diferenças do sistema original e o sistema retrofitado [adaptado (Moctezuma et al., 2012)] .....	47
Tabela 15- Checklist da máquina inicial .....	56
Tabela 16- Exemplos de variáveis definidas para o setup de uma máquina .....	59
Tabela 17- Exemplos de parâmetros da condição da máquina.....	60
Tabela 18- Outros parâmetros do processo .....	60
Tabela 19- Stakeholders e as suas necessidades, requisitos e critérios .....	64
Tabela 20- Atribuição dos KPIs a diferentes áreas de Gestão .....	68
Tabela 21- Tabela de descrição do KPI # .....	69
Tabela 22- Descrição do KPI 1 .....	70
Tabela 23- Descrição do KPI 2.....	71
Tabela 24- Descrição do KPI 3.....	73
Tabela 25- Descrição do KPI 4.....	74
Tabela 26- Descrição do KPI 5.....	75
Tabela 27- Sensores e dados a extrair.....	76
Tabela 28- Exemplo de uma Pugh Matriz de plataformas de IoT e áreas de gestão .....	79
Tabela 29- Exemplo de comparação de tipos dashboards de acordo com a área de Gestão .....	80
Tabela 30- Checklist da máquina retrofitada.....	83

Tabela 31- Processos e equipamentos têxteis escolhidos.....	86
Tabela 32- Sistematização das questões realizadas aos responsáveis por cada tipo de equipamento .....	87
Tabela 33- Matriz resumo Tear .....	88
Tabela 34- Matriz resumo máquina de Estampar Convencional .....	88
Tabela 35- Matriz resumo Jet.....	89
Tabela 36- Matriz resumo Râmula.....	89
Tabela 37- Validação Matrizes.....	90
Tabela 38- Matriz resumo Tear .....	90
Tabela 39- Matriz resumo máquina de Estampar Convencional .....	91
Tabela 40- Matriz resumo Jet.....	91
Tabela 41- Matriz resumo Râmula.....	92

# 1. INTRODUÇÃO

***“It is better to embrace industry disruption than be the victim of it.”***

Dr Richard Soley, Executive Director of the Industrial Internet Consortium (IIC)

## 1.1. Enquadramento do tema

Com o aparecimento de novos conceitos, tecnologias e novas oportunidades a partir da Quarta Revolução Industrial, também mencionada como Indústria 4.0 (EN: Industry 4.0 (I4.0)), o ambiente industrial tem sofrido mudanças radicais.

Surge a necessidade de avaliar e saber quais são essas oportunidades que surgem com a I4.0 e quais os requisitos necessários para que as PMEs conseguiram fazer uma transformação digital bem sucedida e sustentável na sua empresa. Uma maneira de fazer esta migração para a I4.0 pode ser através da Internet das Coisas (EN: *Internet of Things* (IoT)) e de Sistemas Ciber Físicos (EN: *Cyber Physical Systems* (CPS)), de forma a terem um controlo distribuído orientado a serviços do seu sistema de produção (Matt et al., 2020).

A IoT é um conceito que engloba a presença de uma variedade de coisas/objetos num ambiente por meio de conexões sem fio ou com fio capazes de interagir entre si e cooperar com outras coisas. Os mundos reais, digitais e virtuais convergem-se para a criação de ambientes inteligentes como o aparecimento de fábricas inteligentes. Assim, as coisas estão conetadas a qualquer hora, em qualquer lugar, com qualquer coisa e a qualquer pessoa através de qualquer caminho de rede de Internet (Vermesan & Friess, 2014).

Através da conexão entre as coisas da IoT torna-se possível um provisionamento de informações em tempo real em todos os níveis hierárquicos de uma empresa, desde o chão de fábrica até aos executivos através de *dashboards*, que funcionam como um painel de controlo onde as informações importantes sobre o estado de uma linha de produção, bem como indicadores de desempenho são exibidos para que posteriormente possam ser analisadas e se preciso melhoradas (Gröger et al., 2013).

Para obter informações sobre as linha de produção é necessário recorrer aos seus equipamentos. Sabe-se que a maioria dos equipamentos e processos básicos na produção têxtil se mantêm

praticamente inalterados desde a sua criação, e em geral as máquinas não estão equipadas com unidades de controlo ou sensores para coleta de dados. Isto leva à necessidade de equipar os equipamentos e melhorar a infraestrutura de Tecnologia e Informação (TI) das empresas. Esta ligação entre as empresas e a eletrónica pode ser feita através do *Retrofitting*, onde vários conceitos da I4.0 são transpostos para as máquinas e processos, com o objetivo de melhorar os vários aspetos do processo produtivo (Contreras Pérez et al., 2018).

Através de uma estratégia de *Retrofitting*, as máquinas convencionais do setor têxtil superam a digitalização com uma atualização de IoT através de sensores de baixo custo, que permitem aumentar a eficiência operacional e rentabilidade de toda a empresa. A estratégia passa por analisar informações relativas ao desempenho da máquina e alinhar com os objetivos da empresa. Antes do *Retrofitting* as falhas das máquinas não podiam ser previstas pois não havia monitorização da linha de produção passando agora a haver, transpondo os dados para um Sistema de Informação (Stephenson, 2020).

## **1.2. Justificativa e Objetivos**

Uma grande motivação para a realização deste trabalho foi o interesse de querer estudar, ajustar e disseminar conhecimentos e ferramentas relacionados com a Indústria 4.0, que possam auxiliar profissionais e indústrias do setor ITV a perceberem quais as competências necessárias para entrarem neste mundo da digitalização, tecnologias avançadas e alta competitividade.

Outro motivo que levou à realização deste trabalho, foi o de conhecer na prática, o parque atual de equipamentos da ITV face ao desenvolvimento tecnológico atual e de que formas as empresas conseguem beneficiar desse desenvolvimento para aumentar a sua produtividade, diminuir os custos e tornarem-se líderes.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivos a construção de um modelo de suporte industrial com base numa estratégia de *Retrofitting*, algo que se possa dar às empresas do setor para seguirem, e no qual se pode assentar um serviço de desenvolvimento de soluções de IoT no âmbito da I4.0.

## **1.3. Metodologia**

O método de investigação associado a esta dissertação será um estudo de caso de investigação-ação. Neste sentido, o presente trabalho envolve o estudo de um projeto já em desenvolvimento que recorre à investigação-ação como estratégia de intervenção e apoio à decisão.

O termo investigação-ação, foi apresentado por Kurt Lewin como um método de pesquisa simultânea à ação. Uma sequência de eventos e abordagem à resolução de problemas que engloba ciclos iterativos de recolha de dados englobando diferentes ferramentas (Coughlan & Coughlan, 2002).

Numa fase inicial é necessário interpretar esses dados e perceber bem o problema prático do projeto em causa. A partir daí será feita uma planificação do trabalho a fazer relativo a esse problema. Com base nos dados guardados, pretende-se fazer uma comparação e validação dos diferentes indicadores de desempenho para posteriormente filtrar os que agregam valor. Para depois recolher mais dados e assim sucessivamente. Os resultados desejados vão ser uma aprendizagem importante de modo a contribuir para o conhecimento e teoria científicos.

Associada à investigação-ação está também a participação dos outros membros do projeto. O que implica uma interação organizacional que visa permitir uma maior consistência dos dados recolhidos e uma melhor tomada de decisão.

#### **1.4. Estrutura do Trabalho**

Após a escolha da melhor metodologia, e como forma de haver uma maior organização do trabalho é essencial discriminar os cinco capítulos que a presente dissertação se encontra organizada:

Neste primeiro capítulo, é feito um enquadramento geral do tema da dissertação, onde são justificados e definidos os objetivos que conduziram ao projeto, a metodologia de investigação utilizada e é apresentada a presente estrutura do trabalho.

O capítulo dois incide na revisão da literatura e estado da arte. Numa fase inicial e, de forma a melhor compreender e definir o trabalho proposto, recorreu-se frequentemente à análise de livros, artigos científicos e dissertações. A revisão foi útil pois traçou grandes linhas de pesquisa sobre tema.

O capítulo três redigiu-se com base na literatura acima referida. Neste capítulo apresentam-se os passos genéricos para uma estratégia de *Retrofitting* a aplicar em qualquer tipo de máquina. O capítulo é repartido em seis subcapítulos que atravessam o processo de avaliação da máquina, dos dados a extrair, dos objetivo a atingir, da extração e visualização dos dados, da incorporação da tecnologia e, por fim, da comparação das máquinas inicial e final.

No quarto capítulo, desenvolveu-se uma metodologia de avaliação das prioridades para o *Retrofitting* das máquinas escolhidas. Para isso, fez-se um levantamento das classes de máquinas mais relevantes no setor ITV com o intuito de se aplicar o *Retrofitting*. Posto isto foram realizadas entrevistas, fez-se a

correspondência dos parâmetros relevantes a controlar e atribuição do seu grau de importância relacionado às várias áreas de Gestão de uma empresa.

No quinto capítulo, foram expostos os objetivos atingidos ao longo da dissertação. Isto é, as considerações finais, constrangimentos ao longo do projeto e por fim quais os próximos desenvolvimentos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Indústria 4.0

A primeira revolução industrial teve início com as máquinas básicas usadas a vapor e água, ainda sem eletricidade. Depois de ter sido dado este passo, do trabalho manual, para trabalho com máquinas, a produção tornou-se mais barata com o decréscimo da mão de obra. Com o uso de sistemas mecânicos, desde máquinas de furo até máquinas de costura, apareceram melhorias não só para os fabricantes e operadores como também melhorias de qualidade para o cliente.

A segunda revolução industrial surge com o impulso dos avanços tecnológicos. Teve um grande impacto na produção através da criação dos motores que afetam os sistemas de fabrico e produção.

A terceira revolução industrial incidiu na recolha e análise de informações, tendo foco na rastreabilidade e na capacidade de criar novos e melhores produtos através do feedback recebido do sistema com a incorporação dos Big Data e coleta centralizada de informações para facilitar a análise de dados.

A quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0 (EN: Industry 4.0 (I4.0)) surge como um impulsionamento na indústria com a incorporação de sistemas inteligentes conetados. Através deles, as fábricas são capazes de enviar e receber informações por meio da *Cloud*. A existência de produtos inteligentes onde as informações estão conectadas e facilmente acessíveis, conduzem ao aparecimento de sistemas de produção evolutivos onde os problemas são facilmente detetados e podem ser resolvidos (Samir et al., 2018). A Figura 1 representa as quatro revoluções industriais:

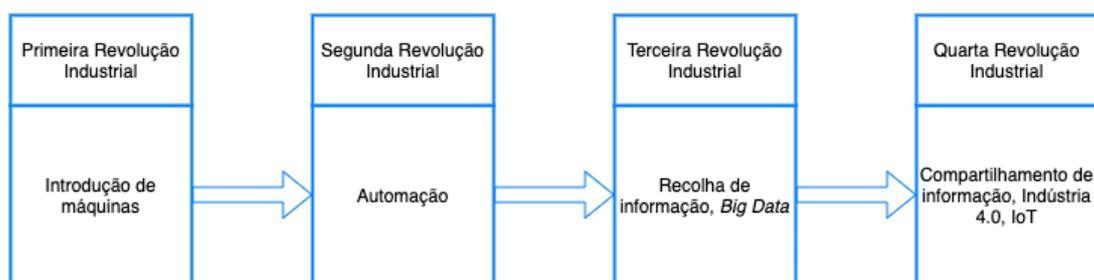


Figura 1- As quatro Revoluções Industriais [adaptado de: (Samir et al., 2018)]

De acordo com (Santos, 2018), a I4.0 define-se como uma indústria caracterizada por avanços tecnológicos, onde a Internet e tecnologias de apoio, possibilitam a integração de objetos físicos, agentes humanos, máquinas inteligentes, linhas e processos de produção, além das fronteiras das entidades, para a criação de uma nova forma de cadeia de valor, inteligente e astuciosa.

Uma nova era tecnológica surge da I4.0, através de sistemas de produção inteligentes com tecnologias integradas que transformará particularmente as cadeias de valor da indústria, produção e modelos de negócio. A Figura 2 expõe o conceito de integração da I4.0:



Figura 2- Conceito de integração da I4.0 [adaptado de: (Junior et al., 2019)]

À medida que os mundos físicos e virtuais se convergem, os objetos físicos tornam-se sensores e atuadores tecnológicos. A I4.0 é considerada um novo paradigma industrial, impulsionada pelas novas tecnologias que causam efeitos nos sistemas de produção e modelos de negócio (Plattform Industrie 4.0, 2015).

### 2.1.1 Arquitetura da Indústria 4.0

Com o intuito de alcançar um objetivo comum e perceber quais os requisitos e casos de uso da I4.0, houve a necessidade de desenvolver um modelo de arquitetura comum que servisse de base para um melhor funcionamento das suas relações e detalhes. O *Reference Architecture Model for Industrie 4.0* (RAMI4.0) foi criado na Alemanha pela Plattform Industrie 4.0, reconhecida na literatura como sendo uma cooperação entre várias instituições constituídas por técnicos e especialistas no assunto com o propósito de promover a I4.0, para ajudar na sua implementação e a ter uma visão para o futuro.

Como se observa na Figura 3, vários aspetos são integrados num só modelo tridimensional:

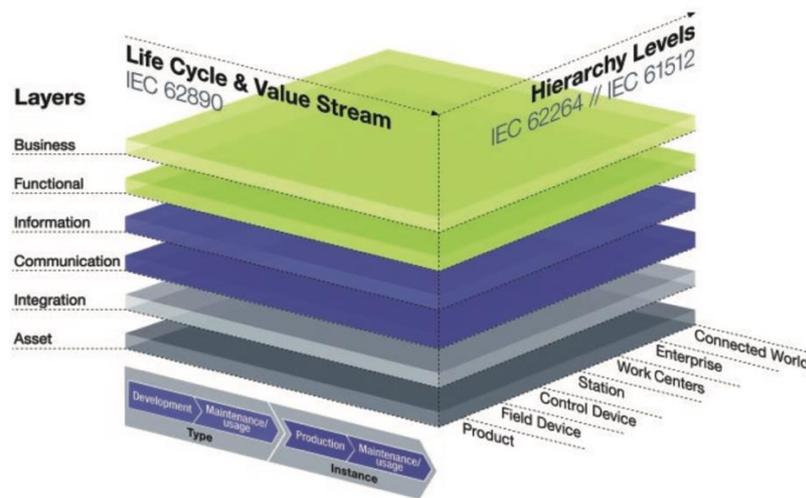


Figura 3- Reference Architecture Model for Industrie 4.0 (Plattform Industrie 4.0, 2015)

- *Layers*: o eixo vertical refere-se essencialmente às TI. Fazem parte: o mapeamento de novos modelos de negócio; a descrição formal das funções a executar para suportar esses modelos; regras e lógicas para uma melhor tomada de decisão; descrição formal das regras num contexto de pré aplicação; padronização na comunicação; informações sobre os ativos (físicos), como por exemplo através de *Computer-Aided Control* dos processos tecnológico e por último a camada dos ativos como componentes físicos, onde se inserem os seres humanos.
- *Life Cycle & Value Stream*: ao longo do eixo esquerdo horizontal está associado o ciclo de vida e cadeia de valor de um produto, ordem de produção, máquina ou fábrica.
  - Produto: uma fábrica produz vários produtos, sendo que cada um tem o seu próprio ciclo de vida.
  - Ordem de produção: cada ordem ou pedido passa por um ciclo de vida com certas especificidades.
  - Fábrica: uma fábrica também tem um ciclo de vida que é financiado, planeado, construído e reciclado. Uma fábrica integra máquinas e sistemas de produção.
  - Máquina: uma máquina é encomendada, projetada, usada, consertada, transformada e reciclada.
- *Hierarchy Levels*: o eixo horizontal à direita representa as diversas funcionalidades e responsabilidades da empresa ao longo dos seus vários níveis hierárquicos.

Outros conceitos relevantes da I4.0 descritos na (Plattform Industrie 4.0, 2015), são:

- *Vertical integration*: uma integração vertical dentro da empresa que permite a conexão entre todos os níveis hierárquicos da empresa desde chão de fábrica até aos executivos.
- *Horizontal integration*: uma integração horizontal que permite a troca de dados entre os sistemas de informação ao longo de toda a cadeia de valor.
- *End-to-end engineering*: engenharia ponta a ponta, em que o projeto é acompanhado de início a fim e é fornecido tudo o que seja possível para criar uma solução viável.

### **2.1.2 Tecnologias Disruptivas - Rutura de Padrões**

A I4.0 integra várias tecnologias disruptivas que conseguem multiplicar a produtividade das empresas e que oferecem novos produtos e serviços difíceis de existirem anteriormente. Numa apresentação da *PricewaterhouseCoopers* (PwC) foram identificadas oito tecnologias da I4.0 que cada empresa deve considerar (Fernandes, 2018):

- Inteligência Artificial.
- Realidade Virtual.
- Realidade Aumentada.
- Internet das Coisas.
- *Blockchain*.
- Impressão 3D.
- Robótica.
- Drones.

Como se observa na Figura 4, a IoT está no top das prioridades dos gestores das empresas. Esta tecnologia é considerada a mais disruptiva para as indústrias e modelos de negócio sendo aquela que há um maior investimento.

## Investimentos feitos pelas organizações

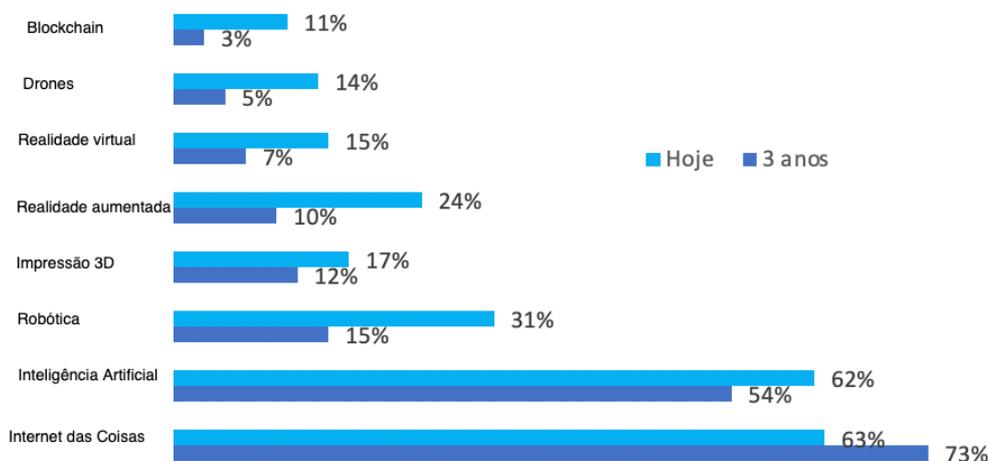


Figura 4 Investimentos em tecnologias disruptivas [adaptado de: (Fernandes, 2018)]

Destacam-se algumas contribuições que as novas tecnologias podem trazer para o ambiente industrial:

- Customização em massa dos produtos, nos quais a produção precisa de ser adaptada para pequenos lotes e eventualmente para lotes individuais.
- Rastreabilidade e autoconhecimento dos produtos e a comunicação destes com as máquinas e outros produtos.
- Adaptação automática e flexível da cadeia de produção face às mudanças das exigências dos consumidores.
- Aumento da *interface*<sup>1</sup> homem-máquina (EN: *Human Machine Interface* (HMI)) incluindo a coexistência de robôs autônomos e a interação com novos e radicais meios de operação.
- Novos modelos de negócio e novos tipos de serviços capazes de contribuir para a interação e colaboração na cadeia de valor.
- Com o desenvolvimento de *software* surge uma fonte centralizada de informações.
- Automação de processos devido ao progresso do desempenho de sistemas autônomos e descentralizados que colaborem através das redes de informação.

---

<sup>1</sup> A *interface* é uma ligação que possibilita aos periféricos comunicarem uns com os outros e com o computador. A *interface* pode ser de *hardware* (cabos, conetores e portas que ligam os computadores aos seus periféricos, ou estes, entre si), *software* (os comandos, mensagens e códigos que facultam a comunicação entre dois programas) ou de utilizador (dispositivos que permitem ao ser humano comunicar com a máquina, por exemplo o rato ou teclado do computador) (Matos, 2009).

- A IoT proporciona a comunicação nas fábricas inteligentes (EN: *Smart factories*) que conduz a uma otimização da produção.

### 2.1.3 Sistemas Cíber Físicos

Os Sistemas Cíber Físicos (EN: *Cyber Physical Systems (CPS)*) são considerados sistemas de entidades computacionais conetados ao mundo físico dos processos industriais. Estes sistemas proporcionam vários serviços de acesso à Internet e de processamento de dados na Internet. Em Engenharia, os CPS funcionam como sistemas físicos onde há monitorização, controlo, coordenação e integração das suas operações através de um núcleo de computação e comunicação. Através dos CPS, as empresas são capazes de tomar decisões difíceis face ao ambiente complexo de produção e ainda viabilizam uma produção individualizada e de baixo custo (Matt et al., 2020).

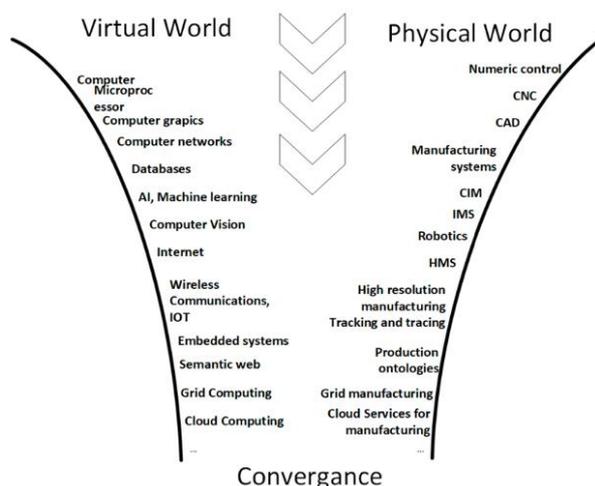


Figura 5- Convergência de mundo físico e virtual (Samir et al., 2018)

O objetivo destes sistemas é o de aumentar a disponibilidade de informações e de dados, reduzindo o possível risco associado. Através do uso de sensores e sistemas de controlo lógico programável (EN: *Programmable Logic Controller (PLC)*) existentes na fábrica, onde há um controlo e monitorização via Internet. Assim, uma fábrica torna-se inteligente e digital onde os operadores conseguem gerir independentemente do local onde encontrem (Samir et al., 2018).

Qualquer sistema que tenha integração computacional, *networking* e processos físicos, é considerado um CPS. Um operador humano, uma *smart factory*, uma linha de produção inteligente. Os CPS têm várias aplicações, nomeadamente no uso de sensores ou outros sistemas integrados para controlar e coletar dados de processos físicos. Processos estes podem ser controlo de temperatura/humidade ou

consumo energia das máquinas. Quando aplicados em ambiente produtivo designam-se: *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS) (Gilchrist, 2016).

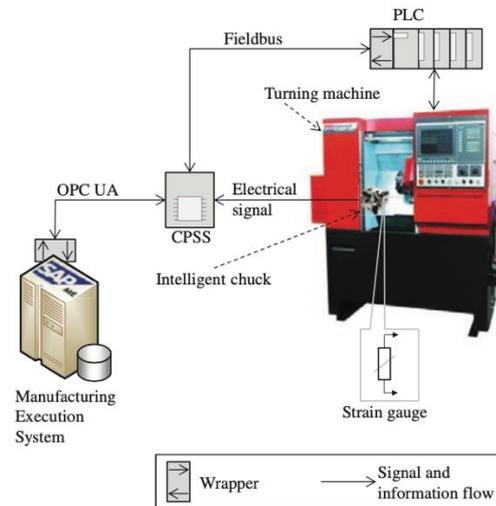


Figura 6- CPSS para uma máquina de torno mecânica (Berger et al., 2016)

#### 2.1.4 Digitalização e Criação de valor

Atualmente, as empresas industriais vivem perante o processo de transformação digital. Estão a digitalizar toda a sua cadeia de valor tanto a nível vertical nas suas funções internas, como a horizontal nas externas. Além disso estão a desenvolver portfólios de novos produtos inovadores através de bases de dados e informações avançadas através deste processo de digitalização. São criadas novas empresas industriais com novos produtos e *interfaces* digitais, serviços inovadores. A comunicação entre o clientes e fornecedores torna-se mais próxima e forma-se um ecossistema industrial digital.

As empresas portuguesas mostram um alinhamento face aos valores globais de digitalização, sendo que apenas 34% destas apresentam um nível avançado de digitalização. No entanto, estas empresas têm expectativas de alcançar a níveis de digitalização maiores nos próximos cinco anos (Fernandes, 2018)

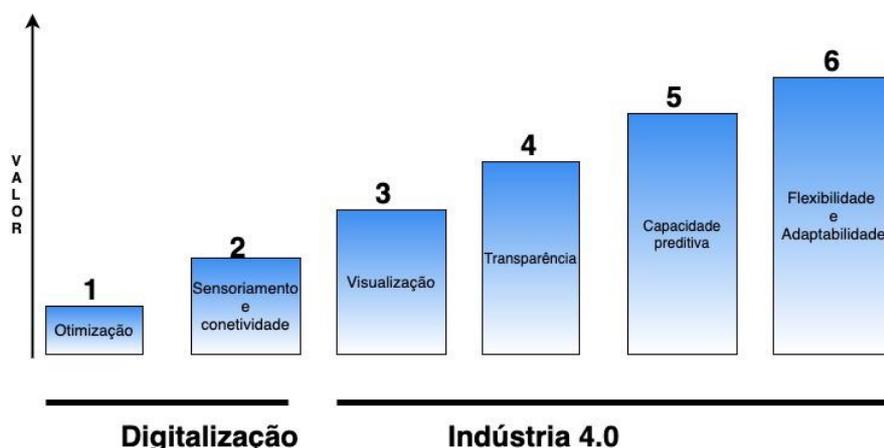


Figura 7- Digitalização e Indústria 4.0 [adaptado de: (Silva & Barbalho, 2019)]

A transformação digital da Indústria para a I4.0, representada na Figura 7, encaminha novas oportunidades, mas também alguns riscos. Os requisitos e necessidades dos clientes passam a ser uma prioridade para as empresas, o que melhora a qualidade da relação entre ambas as partes. Por outro lado, a integração da I4.0 na produção conduz à recolha e uso mais inteligente de grandes quantidades de dados que acabam por ser difíceis de gerir.

A criação de valor é caracterizada pelos fatores intangíveis como melhorias de processo, mudança, conhecimento e habilidades dos trabalhadores. Tem sido difícil para as empresas apostarem apenas nos fatores tangíveis. A criação de valor é sustentada pelas TI e representa um fator relevante de competitividade para valorar os recursos intangíveis e melhorias de processo de uma empresa industrial.

## 2.2 Internet das Coisas

Durante a última década, um novo paradigma denominado de Internet das Coisas (EN: *Internet of Things* (IoT)) evoluiu e está cada vez mais presente no nosso dia a dia. O termo surgiu pela primeira vez em 1999 numa apresentação de Kevin Ashton, o cofundador da *Auto-ID Lab* do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), para a companhia *Procter & Gamble* onde o trabalho inicial de IoT foi focado em aplicativos de consumo energético (Canavan, 2019).

O conceito de IoT é definido de acordo com diversas organizações e investigadores, sendo uma definição de IoT bastante usada definida pela *International Telecommunication Union* (ITU): A IoT, é uma infraestrutura universal para o mundo da informação, capaz de fornecer serviços avançados

através da interconexão de coisas físicas e virtuais, com base em Tecnologias de Informação e Comunicação existentes, interoperáveis e em evolução (Vermesan & Friess, 2014).

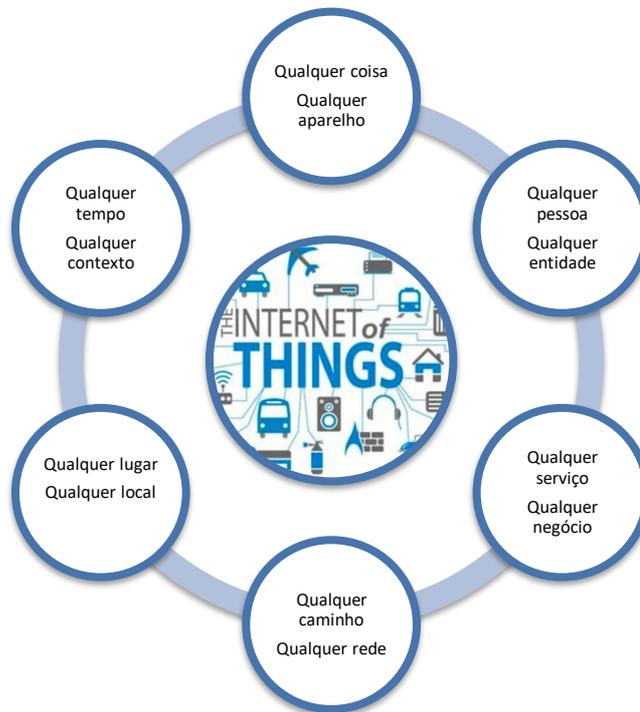


Figura 8 - Internet of Things [adaptado de: (Patel et al., 2016)]

De acordo com a Figura 8 pode-se dizer que a IoT permite que as coisas estejam conetadas em qualquer momento, em qualquer lugar com alguma outra coisa ou alguém através de algum tipo de rede de ligação.

No mundo da IoT, os vários objetos interconetados são capazes de comunicar e partilhar informações, através de protocolos de comunicação (públicos ou privados). Estes objetos da IoT recolhem, analisam e usam regularmente os dados de modo a providenciar à gestão uma melhor capacidade de planeamento e melhor tomada de decisão.

### 2.2.1 Caraterísticas de IoT

De entre as principais caraterísticas de IoT, destacam-se:

- Interconetividade: é considerada a caraterística mais importante no que diz respeito à IoT onde qualquer “coisa” pode ser interconectada com uma infraestrutura global de informação e comunicação.

- Serviços relacionados a coisas: a IoT é capaz de fornecer um conjunto de serviços relacionados a coisas dentro de certas restrições, de proteção de privacidade entre coisas físicas e virtuais.
- Heterogeneidade: os dispositivos da IoT são heterogêneos na medida que se apoiam em diferentes plataformas de *hardware* podendo interagir com outros dispositivos por meio de redes diferentes.
- Mudanças dinâmicas: o estado dos dispositivos muda de uma forma dinâmica por exemplo, o dispositivo está conectado/desconectado.
- Grande escala: o número de dispositivos que precisa de ser gerido e que comunica entre si, é de pelo menos uma ordem de magnitude (Vermesan & Friess, 2014).

A IoT divide-se em três categorias, ambas interligadas pela Internet:

- (1) Pessoas para pessoas, conhecida como comunicação P2P.
- (2) Pessoas para máquinas/coisas, conhecida como comunicação H2M.
- (3) Máquinas/coisas para máquinas/coisas, conhecida como comunicação M2M.

Qualquer uma destas categorias interage através da conectividade digital é capaz de se associar e cooperar com outros objetos/coisas sempre com um objetivo comum (Patel et al., 2016).

Um exemplo da relação H2M pode ser o aparecimento dos dispositivos de controlo e monitores de auxílio. Na Figura 9, é apresentado um ambiente de produção sem barreiras, onde os operadores e robôs podem trabalhar juntos de uma maneira segura, eficaz e eficiente.



Figura 9- Robot colaborativo numa Smart Mini Factory (Matt et al., 2020)

## 2.2.2 Principais aplicações e desafios de IoT

São diversas as potenciais áreas de aplicações de IoT, pois afeta praticamente todas as áreas do cotidiano através das pessoas, empresas e sociedade como um todo (ver Figura 10). As aplicações de IoT abrangem certos espaços e ambientes *Smart* como demonstrado na Figura 10.

A *Internet of Smart Industry (IOI)* é um exemplo de uma aplicação da IoT. Pode estar relacionada com a detecção de níveis de vazamentos industriais, monitorização de gases tóxicos para garantir uma maior segurança dos trabalhadores e mercadorias ou controlo dos níveis de água, óleo e temperatura. A IOI também se reflete na manutenção e reparação ainda nas previsões de falhas dos equipamento através de sensores instalados dentro do equipamento para monitorizar e enviar relatórios (Patel et al., 2016).

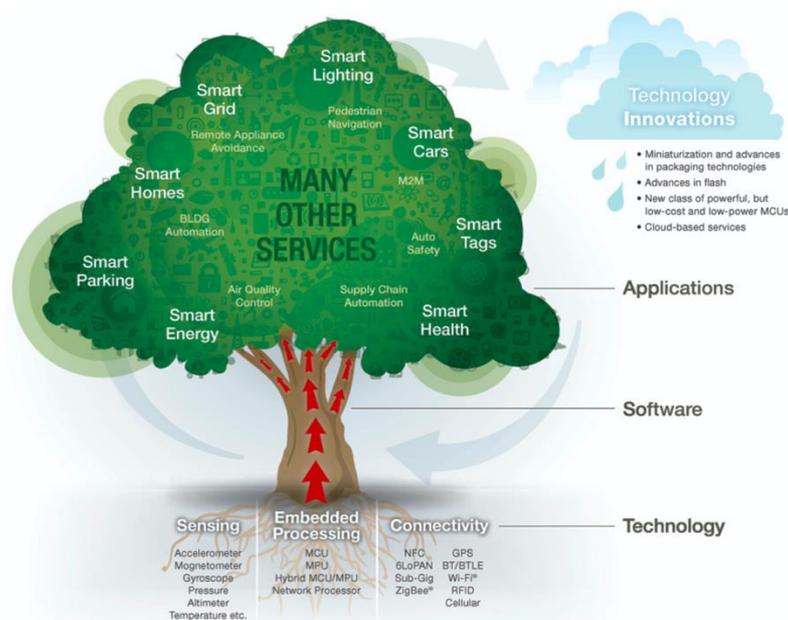


Figura 10- A IoT: Diferentes aplicações, tecnologias e significados (Vermesan & Friess, 2014)

Para obter potenciais benefícios no uso de tecnologias de IoT, as empresas devem superar alguns desafios como a segurança, coleta, armazenamento e uso corrente de dados e informações recolhidas através do uso de dispositivos inteligentes.

As empresas enfrentam alguns desafios quando tentam implementar uma solução de IoT. Segundo (Fernandes, 2018), seguem-se alguns:

- Falta de dados e de uma estratégia geral de IoT.

- Necessidade de dimensionar e compreender o fundamento de um ecossistema de IoT.
- Como monetizar e vender IoT?
- Interoperabilidade, ou seja, a capacidade que um sistema tem de se comunicar com outro e para isso proceder à escolha de uma plataforma *open source* ou *e-commerce* e definir que padrões seguir.
- Problemas organizacionais como a falta de habilidades para o tema.
- Problemas de escala na saída da fase piloto do projeto.
- Segurança dos dados.

### 2.2.3 Internet das Coisas Industrial

A Internet transformou a maneira como as pessoas se comunicam, agora a atenção mudou para fazer o mesmo com as máquinas. O uso automatizado das máquinas, dispositivos e sensores com aplicações industriais leva ao aparecimento da Internet das Coisas Industrial (EN: *Industrial Internet of Things* (IIoT)). O *Industrial Internet Consortium* (IIC), foi fundado em Março 2014 e convoca organizações tecnológicas necessárias para acelerar o crescimento da IIoT, através da promoção de boas práticas para ajudar as empresas a obter resultados tangíveis na digitalização de processos (Canavan, 2019).

A *General Electric* (GE) faz parte das empresas que fundaram o IIC e cunhou o termo *Industrial Internet* no final de 2012. Desde então fez grandes investimentos e criou a *GE Digital*, um negócio de *software* capaz de tornar digital toda a base central de operações da empresa, representado na Figura 11:

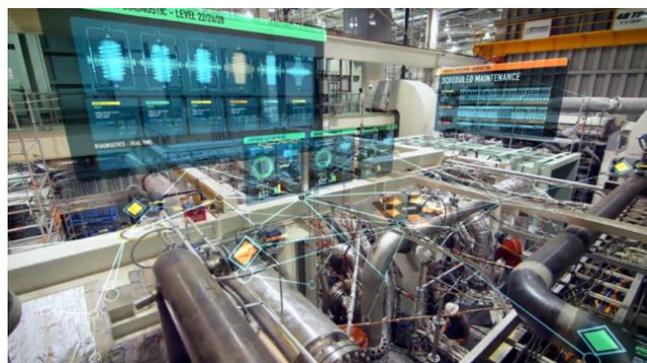


Figura 11- *Industrial Internet* (General Electric, n.d.)

A GE estima que a revolução da *Industrial Internet*, pode somar 2,8 trilhões de euros ao Produto Interno Bruto (PIB) da Europa até 2030. Proporciona ainda o aumento da eficiência energética, e ajuda no combate aos desafios energéticos que a Europa enfrenta atualmente (General Electric, n.d.).

Sintetizando, além de simplificar os processos de produção a IIoT contribui para uma melhor interação com os fornecedores, ganhos de produtividade, operações mais eficientes e economia de custos e energia. No entanto, o elevado nível de interoperabilidade e requisitos de segurança são duas grandes barreiras à IIoT. O primeiro por ser difícil gerir uma grande quantidade de dados que são compartilhados, há falta de padrões de comunicação e os dados precisam de ser coletados e tratados de forma integrada. Os ataques cibernéticos afetam a segurança da IIoT que pode levar a perdas de dados e perdas financeiras (Canavan, 2019).

### 2.2.4 Solução geral de IoT

Quando se aborda uma solução de IoT, podemos falar de uma solução geral onde é mencionado o modo como se obtém e gere os dados num sistema de IoT. A Figura 12 representa uma solução geral de IoT:

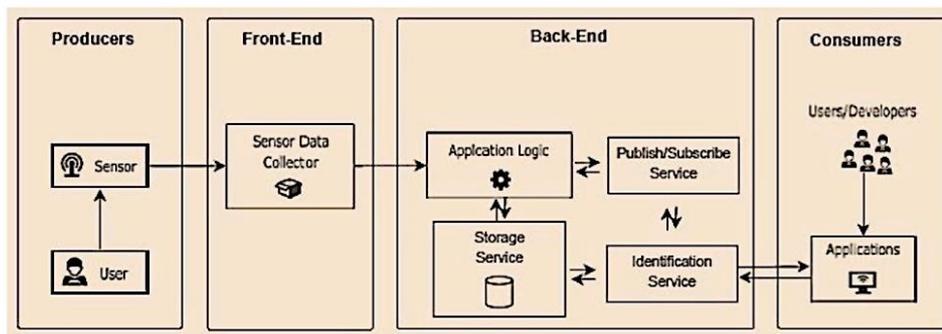


Figura 12- Solução geral de IoT (Douzis et al., 2018)

Esta solução é explicada através de serviços e divide-se em quatro blocos: o primeiro bloco refere-se aos produtores de dados, ou seja, dispositivos de IoT como sensores, que agregam a informação; o segundo diz respeito ao *front-end*, representado pelos coletores desses dados, como um portal (*Gateway*) para os dados circularem; o terceiro representa o *back-end*, com os recursos necessários para analisar e armazenar os dados e o quarto representa os clientes (utilizadores ou aplicações) que recebem os dados vindos do sistema de IoT (Douzis et al., 2018).

O sucesso de qualquer solução de IoT pode ser determinado pela intensidade da rede, pela conexão, atratividade e fluxo de conhecimento/informação e dados (Vermesan & Friess, 2014).

### 2.2.4.1 Arquitetura de IoT

Uma estratégia de IoT engloba não só um bloco, mas sim um conjunto estruturado de blocos. A arquitetura de IoT (ver Figura 13) consegue demonstrar esses blocos ou diferentes camadas de tecnologias que suportam uma aplicação de IoT (Patel et al., 2016).

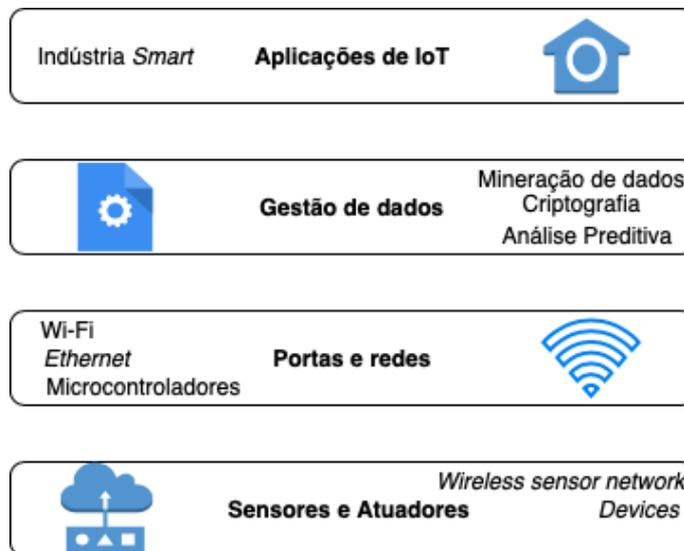


Figura 13- Arquitetura de IoT [adaptado de: (Patel et al., 2016)]

- (i) Sensores e atuadores: É a camada mais baixa onde se encontram os *Smart Objects*. Os sensores permitem a interconexão do mundo físico e digital o que permite a recolha de informações.
- (ii) Portas e redes: O grande volume de dados recolhidos pelos sensores, portas e redes de conexão com um desempenho robusto e de alto desempenho de transporte.
- (iii) Camada de gestão dos dados: É aqui que a gestão dos dados é feita através de análises, inspeções de segurança, modelagem de processos e gestão de dispositivos. Traduz-se basicamente na capacidade de aceder, integrar e controlar os dados.
- (iv) Camada de aplicação: Uma aplicação de IoT pode se transformar numa visualização e exportação dos dados em vários ambientes e espaços, em competências como *Supply Chain*, *Smart Factory*, *Environment*, *Energy* entre outros.

### 2.2.4.2 Protocolos de dados de IoT

É uma realidade que o mundo dos protocolos de IoT é complicado devido aos protocolos legais, tecnologias emergentes, diferentes usos e abordagens das camadas de IoT. Os protocolos encontram-se na camada de aplicação da arquitetura de IoT. Em qualquer solução de IoT é comum o uso de

vários protocolos de comunicação embutidos sendo uns mais apropriados que outros dependendo do próprio sistema. Isto deve-se aos vários dispositivos diferentes que agregam os seus dados numa plataforma medial capaz de os processar para cada fase/tipo de comunicação que ocorre ao longo do sistema. A Tabela 1 apresenta alguns dos protocolos mais usados, muito utilizáveis e que são capazes de permitir uma comunicação correta e transferência de dados entre os diferentes “membros” do sistema.

*Tabela 1- Alguns protocolos de comunicação de IoT [adaptado de: (Atlam et al., 2018)]*

<b>Protocolos de uso comum</b>	<b>Exemplos</b>
<b>Infraestrutura</b>	6LowPAN
<b>Comunicações /Transporte</b>	Bluetooth, Wifi, LPWAN
<b>Protocolos de dados</b>	MQTT, CoAP,Node

O *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) é um protocolo de comunicação com o servidor para pequenos dispositivos e pode estar instalado no microcomputador *Raspberry Pi* e é capaz de enviar dados para as máquinas e analisar os indicadores de desempenho.

### **2.2.4.3 Plataformas de IoT**

As tecnologias de IoT continuam em grande expansão e por isso torna-se importante analisar as opções existentes no mercado para as organizações.

De acordo com uma análise de mercado feita pelo *Boston Consulting Group* (BCG), a IoT gastou bilhões em tecnologias e prevê que até 2025, que o número de coisas inteligentes aumente para 75,4 bilhões de dispositivos instalados. Isto interfere na:

- Automação através de máquinas ligadas, sensores e atuadores para automatizar processos industriais.
- Integração de dados da máquina/sensor com bases de dados organizacionais ou outras fontes de dados como redes sociais.
- Mudança para novos modelos de negócios orientados a serviços através da automação de processos.

Pode-se dizer que uma plataforma<sup>2</sup> de IoT é a componente chave para a digitalização das indústrias no âmbito da I4.0. Permite ligar os dispositivos, recolher e processar dados, que através de *interfaces* do utilizador baseadas na Internet.

Isto conduz a uma melhor tomada de decisão por parte das empresas que optam por lidar com estas plataformas. De entre várias plataformas existentes de IoT de para uma gestão de dados destacam-se, a pioneira *Amazon Web Services (AWS)*, *Google Cloud*, *Microsoft Azure* e a *Thingsboard* (D. López et al., 2018).

- **Thingsboard**

A *Thingsboard* é uma plataforma *open source* desenvolvida pela empresa de mesma designação com base nos EUA. A plataforma é de fácil e rápida instalação, e disponibiliza aulas *online* no website para ensinar como trabalhar nela.

Na Figura 14, estão identificadas algumas das suas características:

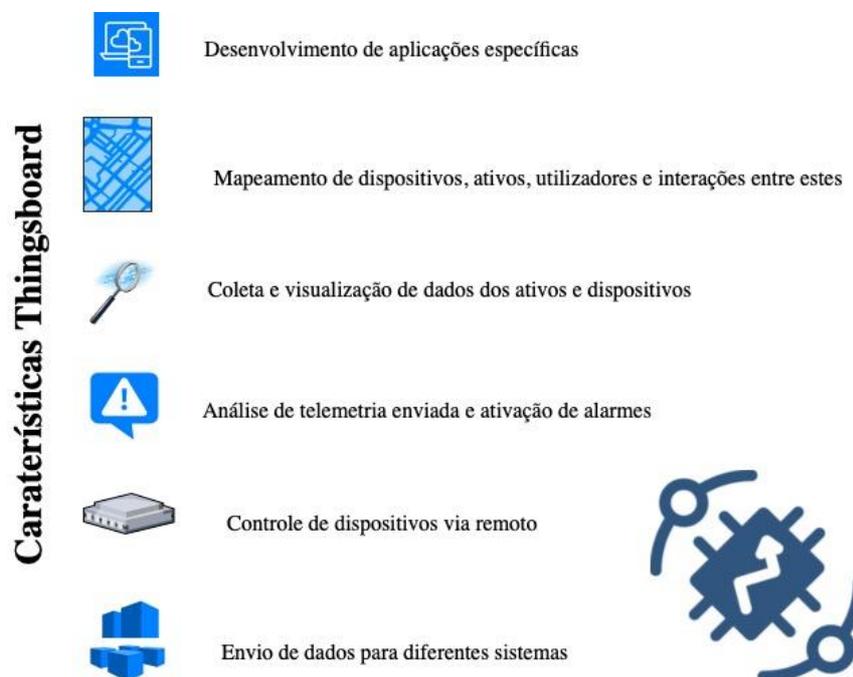


Figura 14- Caraterísticas Thingsboard [adaptado de: (Thingsboard, n.d.)]

---

<sup>2</sup> Uma plataforma, apresenta uma arquitetura, *hardware* ou *software* que pode ser definido como o ponto de partida ou ligação para outros elementos como um sistema operativo, ou um computador (Matos, 2009).

A *Thingsboard* apresenta vários menus. Por exemplo, no menu *Devices*, há uma gestão de todos os dispositivos associados ao sistema, tais como, sensores, atuadores, microprocessadores e/ou *gateways* de comunicação. Estes dados podem ser visualizados através de *dashboards* (descritos ao longo da dissertação), bem como outros serviços de controlo e monitorização. Depois da criação de um *dashboard*, os dados serão ilustrados no menu *Widgets* (*Thingsboard*, n.d.).

- **Node Red**

O *Node-Red* foi desenvolvido por um engenheiro da *International Business Machines Corporation* (IBM) para simplificar as tarefas de código. É uma linguagem de programação *open source* baseada em fluxo para a IoT. No *Node-Red* é possível definir fluxos entre mais de 1392 nós existentes ou novos. É construído no Node.js e é executado localmente em dispositivos como *Raspberry Pi* ou *Arduino* (descritos mais à frente) ou ainda em ambientes de nuvem através da *Thingsboard*.

Os fluxos entre os nós, são gravados no formato *Java Script Object Notation* (JSON) o que lhes permite serem partilhados. Além disso, os diferentes nós no *Node-Red* são capazes de codificar as informações e criar alarmes de acordo com as informações recebidas.

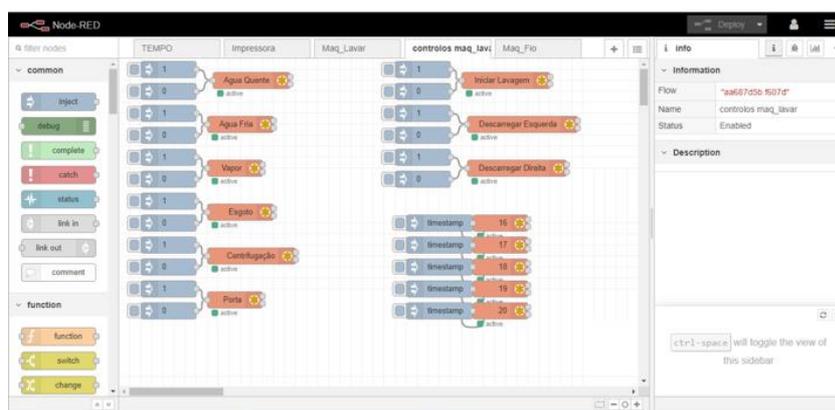


Figura 15- Exemplo do node-RED a correr no Thingsboard

Assim, através de desta ferramenta flexível e usando protocolos de comunicação, torna-se possível comunicar com as máquinas e recolher dados importantes.

O *Node-Red* acabou por se tornar uma ferramenta muito poderosa que é usada em muitas plataformas, como por exemplo a *Agilit-e* (D. López et al., 2018).

- **Amazon Web Services IoT**

A *Amazon Web Services IoT* (AWS IoT) é a plataforma pioneira de IoT e permite a interação entre dispositivos e plataformas conetadas desde a borda até à nuvem. Através de uma *gateway*, os dispositivos conectados à plataforma comunicam bidirecionalmente com outros aparelhos e outras plataformas usando protocolos como o MQTT no transporte de mensagens.

Através de soluções de monitorização, a plataforma oferece serviços de segurança, mecanismos preventivos como criptografia e de acesso aos dados (D. López et al., 2018).

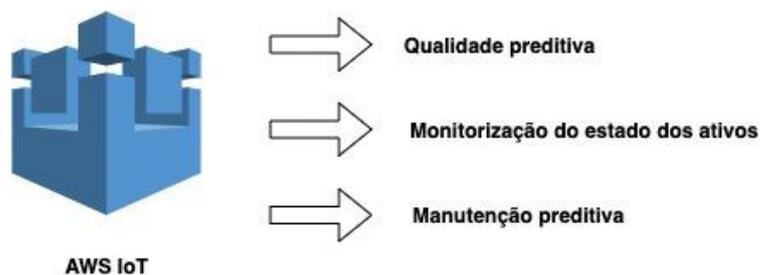


Figura 16- Casos de uso de AWS IoT na indústria

A qualidade preditiva está presente nos *insights* extraídos das máquinas ou condições ambientais que são usados para otimização da empresa. É possível monitorizar o estado atual e do desempenho dos ativos da empresa. A AWS IoT ao capturar os dados indica se as máquinas estão a trabalhar na sua máxima eficiência. Assim é possível maximizar o uso e investimento nos ativos da empresa. A AWS também identifica e prevê possíveis falhas dos equipamentos antes que eles afetem o processo de produção. Assim, torna-se possível aceder constantemente ao estado e desempenho dos equipamentos em tempo real.

---

<sup>3</sup> Portal de serviços de integração ágil e de baixo código.

#### **2.2.4.4 Comparação de plataformas**

É importante fazer uma comparação entre as várias plataformas existentes no mercado para ajudar as empresas numa melhor tomada de decisão. As plataformas podem ser *open source* (disponibilizam código aberto) e portanto, podem ser estudadas, modificadas e aperfeiçoadas por qualquer pessoa ou pelo contrário podem ser *e-commerce* (comerciais).

De entre os critérios a analisar destacam-se a arquitetura da plataforma, interoperabilidade, requisitos de *hardware* e segurança relativa à privacidade dos dados. As várias plataformas de IoT possuem diferenças a nível da segurança dos usuários, dispositivos e da própria plataforma. É por isso que é indispensável uma boa análise de risco na escolha da plataforma. Cinco critérios relacionados com a segurança são:

- (1) Autenticação: A autenticação permite identificar a entidade no sistema. Num contexto de IoT, a quantidade de dados gerados é pesada, pelo que ocorrem vários problemas de privacidade e segurança do sistema.
- (2) Gestão de informação encriptada: A mensagem é encriptada de forma apenas pessoas com autorização poderem aceder.
- (3) Autorização: É dada uma autorização ao usuário de forma a executar atividades pretendidas.
- (4) Contabilidade: Mede a quantidade de recursos gerados ou consumidos pelo usuário durante o acesso à plataforma.
- (5) Detecção de anomalias: Refere-se à capacidade que o sistema tem de detetar anomalias ou possíveis erros de operação.

Estes cinco pontos acima descritos são essenciais para estimar o impacto negativo que um acidente de segurança pode acontecer numa estratégia de IoT (D. López et al., 2018).

#### **2.2.5 Sucesso de projetos de IoT**

A IoT é explorada por inúmeras empresas a nível mundial o que facilita a seleção de uma melhor estratégia para que os projetos de IoT tenham sucesso. Através de discussões onde se reúnem os maiores, mais apaixonados líderes do setor de TI, torna-se possível acelerar os projetos de IoT com o objetivo de extrair *insights* das suas experiências e qual a relação entre as organizações que enfrentam desafios semelhantes.

A Cisco, uma empresa líder de TI a nível mundial, sediada na Califórnia, divulgou descobertas no Fórum Mundial da Internet das Coisas (IoTWF). Chegaram-se a quatro deduções sobre o sucesso de projetos de IoT:

- Primeiro, temos que o “fator humano” como a cultura, organização e liderança são importantes. Por trás de um projeto bem sucedido, é preciso se ter uma boa colaboração entre a TI e os negócios, uma cultura focada em tecnologia, e experiência em IoT.
- Segundo, face às dificuldades dos projetos, é preferível uma estratégia em equipas/grupo face a uma individual de modo a combater: o tempo para a conclusão, o conhecimento interno limitado, qualidade dos dados a integração das equipas e excedentes do orçamento.
- Em terceiro, vem a importância *insights* de dados inteligentes que permitem melhoramentos na satisfação dos clientes, a eficiência operacional e a melhoria da qualidade dos produto ou serviços, sendo a rentabilidade o principal melhoramento inesperado.
- Por último, vem a importância de aprender com as falhas. Apesar dos desafios para o futuro de IoT, sessenta e um por cento das empresas acreditam que mal começaram a arranhar a superfície do que as tecnologias de IoT podem fazer pelos seus negócios (*The Network Cisco's Technology News Site*, 2017).

As oportunidades de IoT são sustentadas por quatro principais objetivos de negócio descritos na Tabela 2 que levam aos seguintes *outcomes*:

Tabela 2- Oportunidades de IoT [adaptado de: (Fernandes, 2018)]

<b>Objetivo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Outcome</b>
<b>Inovação</b>	Criar um cliente capacitado para experiências de IoT.	Aumento da receita por usuário. Negócios com margens mais altas. Ofertas de produtos e serviços mais disruptivos. Novos modelos de negócio.
<b>Compromisso</b>	Possibilitar uma interação quase perfeita entre clientes.	Satisfação do cliente. Menos rotatividade dos clientes. Maior percepção do cliente.
<b>Produtividade</b>	Digitalização de novos modelos de processos e negócio a fim de melhorar a produtividade da empresa.	Opex <sup>4</sup> reduzido. Grande produtividade do trabalhador. Taxas de defeito reduzidas. Maior tempo de produção.
<b>Confiança</b>	Assegurar um ambiente de trabalho de IoT seguro promovendo confiança entre os clientes.	Menor risco. Maior valor de marca. Maior satisfação do cliente.

### 2.3 Visualização de dados e KPIs em Dashboards

A visualização de dados é a forma de como as informações são apresentadas por meio de imagens ou gráficos. Ao olhar para os resultados visualmente, os tomadores de decisão da empresa conseguem interpretar e identificar novos padrões. Esta visualização pode ser concebida através do uso de novas tecnologias como as plataformas de IoT anteriormente descritas.

---

<sup>4</sup> Opex é um termo que diz respeito à gestão empresarial e vem do inglês *Operational Expenditure*. Representa as despesas que uma empresa durante a produção. Pode referir-se a despesas ligadas à manutenção, equipamentos, máquinas, propriedades ou outro tipo de bens (*Mais Retorno*, n.d.).

### 2.3.1 Telemetria

A telemetria é o registo e transmissão automática de dados de fontes remotas ou inacessíveis para um sistema de TI num local diferente para a sua monitorização e análise. Os dados da telemetria podem ser retransmitidos via rádio, infravermelho, ultrassom, satélite ou cabo, dependendo da aplicação.

Além do mundo do *software*, a telemetria também é usada na meteorologia, medicina, inteligência entre outras áreas. No desenvolvimento de *software* a telemetria é capaz de fornecer *insights* para os *end user*<sup>5</sup> usarem, para deteção de *bugs* ou problemas e oferecer uma melhor visibilidade do desempenho interagindo diretamente com os usuários do sistema.

Portanto, os sensores existentes na fonte, medem os dados físicos (como por exemplo, a pressão ou temperatura) ou elétricos (como corrente ou tensão). Posteriormente, estes são convertidos em tensões elétricas que são combinadas com dados de temporização. É formado um fluxo de dados, que é transmitido por meio sem ou com fio ou ambos. Quando chega ao recetor remoto, o fluxo é desagregado e os dados originais são exibidos ou processados com base nas especificações do usuário.

Um dos principais benefícios da telemetria é a sua capacidade de controlar o estado de um objeto ou ambiente quando o usuário não está fisicamente presente. A telemetria torna-se assim uma ferramenta muito valiosa para monitorização e gestão do desempenho de um sistema de produção (Kukkamäki et al., 2018).

### 2.3.2 Indicadores de desempenho

“O que não se mede, não se gere”, esta frase assumida ao importante professor estatístico e consultor *W. Edwards Deming* reconhecido pela melhoria dos processos produtivos. Assumi ainda que para gerir qualquer organização deve haver um foco no uso de indicadores de desempenho para ajudar a tomada de decisões.

---

<sup>5</sup> É o indivíduo ou organização que origina ou é destinatário final das informações transportadas por uma rede (por exemplo, um utilizador).

Um indicador chave de desempenho (EN: *Key Performance Indicator (KPI)*) define-se como um valor que expõe o fator de sucesso de um sistema de produção. São considerados fatores críticos de sucesso aqueles que ajudam a atingir as metas estabelecidas a elevados níveis de padrão. Assim, é possível medir o sucesso de uma empresa, comparando os valores atuais com os antigos. Os KPIs podem ser definidos de forma direta ou indireta. No primeiro caso, as metas a atingir pelo sistema podem ser medidas diretamente na linha de produção. No segundo caso, é necessário efetuar cálculos antes de serem exibidas as informações (Samir et al., 2018).

Um KPI também pode ser definido como ferramenta de gestão usada para medir o consequente nível de desempenho e sucesso de uma organização ou de um determinado processo, com foco no como e indicando o quão bem os processos dessa empresa estão a conseguir alcançar os objetivos traçados inicialmente. O MIS, é uma ferramenta fundamental para tomadores de decisão de uma empresa atuarem de uma forma mais fácil e eficaz (Pradhan, 2015).

Na Figura 17 evidenciam-se quatro exemplos de quadrantes com os principais KPIs de quatro áreas empresa de produção de peças de roupa: Produtividade, Qualidade, Entrega e Custo.

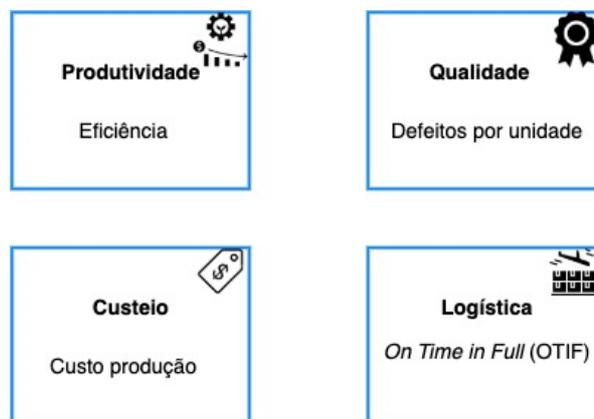


Figura 17- Principais KPIs em quatro áreas de manufatura [adaptado de: (Pradhan, 2015)]

### 2.3.3 Dashboards

O termo *dashboard* é inspirado pelos *dashboards* dos aviões e aeronaves. *Dashboards* digitais referem-se a *dashboards* na área de *Business Intelligence*<sup>6</sup> (BI). Existem dois tipos de definições: Num sentido mais estrito, o termo refere-se a ferramentas que permitem a visualização dos KPIs complementando com funções de relatórios para os gestores de topo. Num sentido mais amplo, os *dashboards* são intuitivos, e fáceis de usar para um monitoramento *front-end*<sup>7</sup>, de forma a otimizar as atividades e melhorar o processo de tomada de decisão dos usuários. Como observamos na Figura 18 podemos ter vários níveis de *dashboards* de acordo com o nível de hierarquia dentro da empresa (Gröger et al., 2013).

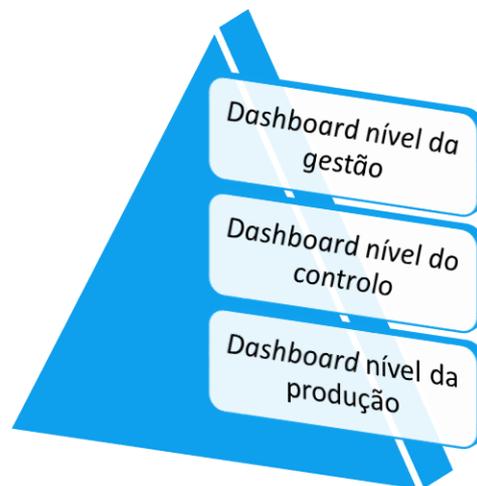


Figura 18- Classificação por níveis de Dashboards [adaptado de: (Gröger et al., 2013)]

O nível superior refere-se à gestão da empresa e abrange atividades relacionadas com o negócio e planeamento da produção com uma vertente mais comercial.

O nível intermédio corresponde à análise e controlo dos processos de produção da empresa.

---

<sup>6</sup> O BI é uma área de negócio que engloba várias tecnologias capazes de dar suporte ao processo de decisão da uma empresa ou serviço.

<sup>7</sup> Refere-se à parte visual de um site. Normalmente usam-se linguagens como HTML, CSS e JavaScript para criar *interfaces* de uma aplicação.

O nível inferior refere-se aos processos físicos que ocorrem no *shop floor*<sup>8</sup> e são detalhadas as operações de produção e estão presentes informações sobre o processo que são importantes para os trabalhadores como:

- *Process context*: Este tipo de informação dá suporte aos trabalhadores para que possam acompanhar o desenvolvimento do processo e para terem uma melhor perceção do seu estado.
- *Process performance*: Corresponde aos parâmetros técnicos e baseia-se essencialmente na eficiência e efetividade do processo. Ajuda na tomada de decisão, sobretudo em parâmetros quantitativos do processo.
- *Process knowledge*: Traduz a informação sobre o andamento do processo, pode ser através de fotos, vídeos, texto, como instruções de trabalho orientadas, que funciona como um facilitador de orientação de trabalho.
- *Process communication*: Consiste na troca de informação quer a nível horizontal no *shop floor* ao longo de todo o processo, quer a nível vertical ao longo dos diferentes níveis hierárquicos da empresa.

O *design* de um *dashboard* deve ser estático, e fornecer muita informação apenas numa janela de visualização. A informação importante deve estar no centro e canto superior esquerdo. Além disso, o *design* varia também, de acordo com o usuário, diferentes usuários implica diferentes *dashboards* com diferentes funcionalidades. Seguem-se alguns tipos:

- *Operational dashboard*: interessa aos operários a visualização de um *operational dashboard*, que demonstre o estado das máquinas no chão de fábrica e o estado da produção.
- *Tactical dashboard*: Aos gestores de produção, interessa um *tactical dashboard* que mostre detalhes de utilização das máquinas, o *Lead Time*<sup>9</sup> (LT) do produto, a eficiência da linha de produção e possíveis reclamações.

---

<sup>8</sup> É o chão de fábrica da empresa.

<sup>9</sup> É o prazo de produção previsto para a produção de determinado produto e encomenda.

- *Strategy dashboard*. Por último, aos executivos interessa um *strategy dashboard* que apresente uma previsão de vendas ou a produtividade de uma linha de produção, custos de produção e mercadorias.

Um *scorecard*<sup>10</sup> pode ser uma estratégia de encontrar os indicadores de desempenho que podem ser recolhidos e demonstrados no *dashboard* da empresa que lhe permite atingir os objetivos estratégicos, sendo o seu uso indiciado apenas para o *Strategy dashboard* (Tokola et al., 2016).

## **2.4 Monitorização, controlo e sensorização**

A monitorização de máquinas e de sistemas de produção permite que as empresas saibam quando é que ocorre um determinado evento e quais as circunstâncias em que este ocorreu. Na indústria, as máquinas podem ser monitorizadas, sendo retirados diversos dados como a temperatura, humidade, pressão, entre outros.

Para além da monitorização, por vezes é importante fazer o controlo das condições do sistema. O controlo consiste na alteração do estado ou propriedade do sistema, para produzir um certo efeito ou obter determinado resultado. Isto leva a uma progressiva substituição do operador humano, por um sistema capaz de responder às exigências de um modo mais rápido e eficaz.

Os *Smart Objects* e a IoT são duas tendências do futuro que caminham juntas e se complementam. Devido à heterogeneidade dos objetos, eles podem se classificar de várias formas (ver Figura 19). Através da literatura de IoT, a palavra objeto<sup>11</sup> está associada a uma coisa ou a um dispositivo da IoT, podendo ser inteligentes ou não.

---

<sup>10</sup> *Framework* de negócio que serve para gerir e controlar as metas estratégicas das organizações.

<sup>11</sup> Um objeto pode ser qualquer dispositivo eletrónico que se possa conectar à Internet e coletar dados, como um sensor, ou realizar uma ação num determinado objeto, um atuador (González García et al., 2017).

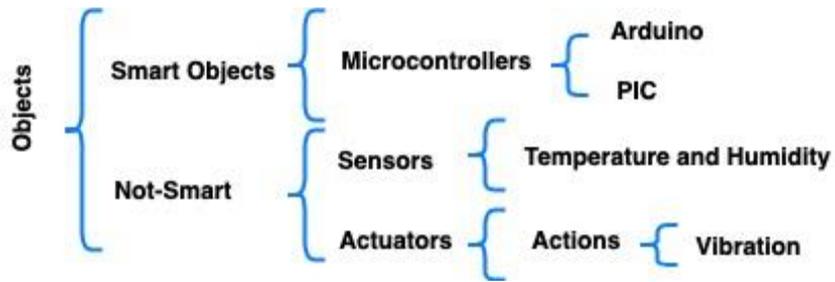


Figura 19- Objetos para monitorização, sensorização e controlo [adaptado de: (González García et al., 2017)]

### 2.4.1 Smart Objects

O termo *Smart* pode ser definido *como* um sinónimo de esperto e inteligente, isto significa, que possui a habilidade de tomar decisões baseadas em informação disponível para o seu próprio benefício. Um *Smart Object* é qualquer objeto ou produto que através de tecnologias, ciente do ambiente e estado, tem a capacidade de se comunicar e tomar as suas próprias decisões (T. López et al., 2011).

Os *Smart Objects* são caracterizados por possuírem duas das propriedades que se observam na Figura 20:

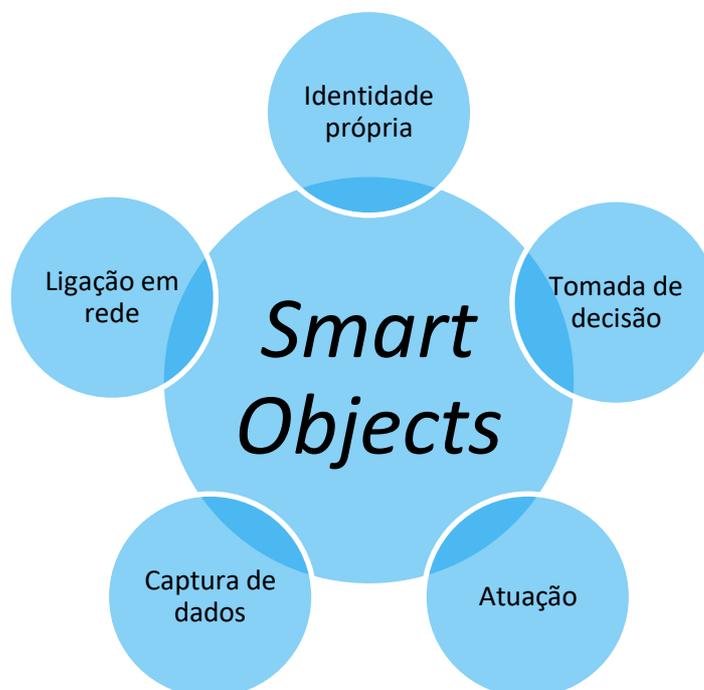


Figura 20- Atributos dos Smart Objects [adaptado de: (T. López et al., 2011)]

- Propriedade tipo “I” do inglês: “*Identity*” e refere-se à identidade do objeto e à aptidão que ele tem de recolher informações relevantes.
- Propriedade tipo “S”, do inglês: “*Sensing*” e refere-se à competência que o objeto tem em medir as condições fisiológicas. Imagine-se um exemplo hipotético de uma máquina têxtil com um sensor de temperatura e um ecrã *Liquid Crystal Display* (LCD). Os *end-users* conseguem observar e controlar o parâmetro temperatura para uma melhor tomada de decisão.
- Propriedade tipo “A” do inglês: “*Actuation*” permite que ao objeto atuar no meio em que está inserido.
- Propriedade tipo “D” do inglês: “*Decision*” refere-se à capacidade que o objeto tem de tomar decisões sozinho e controlar outros objetos ou sistemas;
- Propriedade tipo “N” do inglês “*Networking*” refere-se à ligação em rede sem fios dos objetos a outros dispositivos. No exemplo acima do sensor de temperatura, o objeto transmite as informações do seu estado através desta conexão *wireless*.

Pode-se acrescentar que há uma relação de proporcionalidade direta entre o número de propriedades e o grau de inteligência do objeto (T. López et al., 2011).

### • **Microcontroladores**

Um microcontrolador nada mais é que um computador com uma unidade de processamento central (EN: *Central Processing Unit* (CPU)) que executa programas carregados de algum sítio; tem alguma RAM onde se podem armazenar variáveis e dispositivos de entrada e saída para comunicação com pessoas.

As principais diferenças entre os computadores e microcontroladores são que estes são usados para uma tarefa específica.

Os microcontroladores são então pequenos computadores com pouca memória e periféricos de entrada/saída programáveis. São parte da razão pela qual a IoT é possível nos dias de hoje e são usados devido ao seu baixo consumo de energia que os torna baratos.

Muitas vezes os microcontroladores também são confundidos com uma placa de *Arduino* ou *Raspberry Pi*. Ambos são computadores por definição, mas estes dois últimos são placas de expansão que podem estar integradas um microcontrolador.

- *Raspberry Pi*

O *Raspberry Pi* é um exemplo de um microcomputador desenvolvido no Reino Unido pela fundação com o mesmo nome. Existem várias versões disponíveis no website: <https://www.raspberrypi.org>. A Figura 21 representa um exemplo de um *Raspberry Pi* e as suas características estão sintetizadas na Tabela 3:



Figura 21- Raspberry Pi 4 Modelo B

Tabela 3- Especificações técnicas Raspberry Pi 4 Modelo B

<b>Raspberry Pi 4 Modelo B</b>	
<b>Portas USB</b>	4
<b>Conexão de rede</b>	Ethernet port
<b>Interface da câmara</b>	Sim
<b>Interface de exibição</b>	Sim
<b>Memória</b>	Cartão Micro SD de 1GB RAM
<b>CPU</b>	900MHZ quad-core ARM Cortex-A7
<b>Preço</b>	71,90€

A placa eletrônica *GrovePi+* é montada no *Raspberry Pi*, e é usada para facilitar a conectividade do microcomputador pois permite conectar os vários sensores e atuadores ao mesmo tempo. São exemplos desses sensores LEDs, ecrã LCD, botões programáveis e os sensores de temperatura,

velocidade, humidade entre outros. Foi desenvolvida pela empresa *Dexter Industries* e as suas características de instalação e funcionalidades estão disponíveis no website: <http://www.dexterindustries.com>.

- *Arduino*

O *Arduino* foi desenvolvido em Itália, voltado para pessoas sem experiência e formação em linguagens de programação. O *Arduino*, é uma placa eletrónica *open source* baseada em *software* e *hardware* de fácil utilização. A placa lê entradas como por exemplo um dedo a tocar num botão ou uma luz num sensor e transforma estas entradas em saídas como fazer ligar uma luz ou um motor da máquina. É através de instruções criadas pelo usuário de acordo com as suas necessidades particulares, que são enviadas para o microcontrolador da placa fazendo publicar alguma informação online. A linguagem de programação usada é um *software* próprios do *Arduino* (*Arduino*, 2018).

Para uma estratégia de IoT, interessa adquirir um *Arduino* conetado à rede. Para isso existe o *Arduino Nano 33* conetado à IoT apresentado na Figura 22. As informações encontram-se disponíveis no website: <https://www.electrofun.pt/arduino/arduino-nano-33-iot>.



Figura 22- *Arduino Arduino Nano 33 IoT*

A Tabela 4 sintetiza as suas características:

*Tabela 4- Especificações técnicas Arduino Nano 33 IoT*

<b>Arduino Nano 33 IoT</b>	
<b>Interfaces</b>	USB, SPI, I2C, I2S, UART
<b>Velocidade de relógio</b>	Até 48MHz
<b>Conexão de rede</b>	Wifi e BLE 4.2
<b>Pinagem</b>	14 Digital, 6PWH, 8 Analógico
<b>Memória</b>	256 kB Flash e 32 kB RAM
<b>Dimensões</b>	18×45mm
<b>Preço</b>	26,00€

## 2.4.2 Sensores

Para que os objetos ganhem inteligência e reajam a diferentes situações, é preciso um certo conhecimento do ambiente onde estão inseridos. Os sensores são transdutores que fazem medições sobre as condições do “mundo real”, transformando fenómenos de ordem física em sinais elétricos. Existem vários métodos e tipos de dispositivos para medir um determinado fenómeno, variando de acordo com o preço, tamanho, precisão e alcance desejado (T. López et al., 2011). A Tabela 5 exemplifica alguns tipos de sensores:

*Tabela 5 - Exemplos de tipos de sensores [adaptado de: (T. López et al., 2011)]*

<b>Tipo</b>	<b>Exemplos</b>
<b>Magnético</b>	Sensores Efeito Hall
<b>Químico</b>	Monóxido de carbono
<b>Acústico</b>	Ultrassom
<b>Térmico</b>	Termómetro (Termopar)
<b>Radiação eletromagnética</b>	Detetores de infravermelhos

A escolha do tipo de sensor e nomeadamente qual o equipamento a aplicar nele para formar um *Smart Object* depende:

- (i) Da aplicação que é expectável que o *Smart Object* intervenha.
- (ii) Das características da plataforma de *hardware*.

Para melhorar a integração destes sensores no sistema é importante o uso de certos padrões de sensores. O *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*<sup>12</sup> forneceu uma lista de padrões/protocolos para diferentes tipos de transdutores.

A conexão entre sensores é feita através de vários dispositivos que são programados de forma a monitorizar, controlar e automatizar os elementos do sistema.

- o *Wireless Sensor Networks*

Com o rápido desenvolvimento da IoT, as redes de sensores sem fio, têm cada vez mais um papel importante no avanço das TI.

Os sensores fazem a recolha dos dados relacionados com a propriedade física de um sistema, com utilização em várias áreas. Quando ligados em rede, formam uma rede de sensores sem fios (EN: *Wireless Sensor Networks (WSN)*) apresentados na Figura 23:

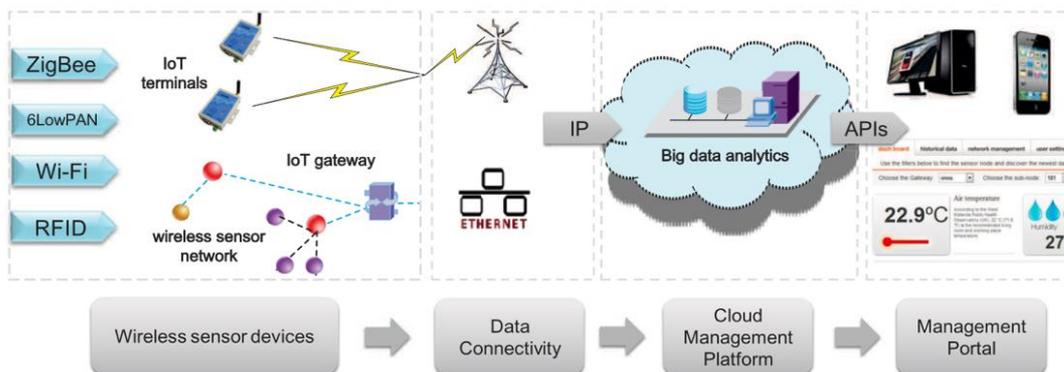


Figura 23- Arquitetura IoT end-to-end (Sheng et al., 2015)

Existem algumas vantagens dos WSN comparados com os sensores tradicionais. Os WSN desenvolvem sistemas de tamanho reduzido, de longo alcance e baixo consumo de energia, através de dispositivos sem fio de baixo custo com recursos computacionais de deteção. O propósito básico consiste na monitorização de determinado ambiente. As principais características que chamam a atenção destes sensores são autonomia e facilidade de instalação. Por outro lado, possuem capacidades computacionais limitadas e uma memória reduzida (T. López et al., 2011).

---

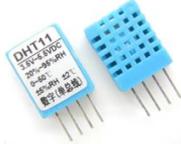
<sup>12</sup> A IEEE é a maior organização profissional técnica do mundo dedicada ao avanço de tecnologia que oferece benefícios para a humanidade.

### 2.4.3 Exemplos de Sensores para Microcontroladores, *Raspberry Pi* e *Arduino*

- **Sensor de temperatura e humidade**

O sensor de temperatura e humidade DHT11 proporciona valores da temperatura e humidade relativa. Trata-se de um sensor barato e ideal para pequenos projetos como *Raspberry Pi* ou *Arduino*. A Tabela 6 ilustra as suas características:

Tabela 6- Características do sensor de temperatura e humidade DHT11

Sensor DHT11		
<b>Tensão</b>	3 a 5V	
<b>Temperatura</b>	0 a 50°C	
<b>Humidade relativa</b>	20% a 90%	
<b>Taxa de atualização nas leituras</b>	2s	

Este sensor caracteriza-se por ter um sinal digital bem calibrado o que permite uma grande fiabilidade nas leituras. O protocolo de comunicação usado é de um único fio para que a sua integração no sistema se torne mais rápida e fácil.

As leituras com este sensor são feitas através de *scripts* feitas em linguagem de programação *Python*<sup>3</sup>.

- **Sensor de fumo e gases tóxicos**

Torna-se cada vez mais importante medir as emissões de gases durante os processos industriais com o intuito de tornar um ambiente de trabalho mais seguro e uma produção mais limpa.

O sensor de fumo e gases tóxicos MQ-135 que é capaz de se ligar a um *Raspberry Pi* para um projeto de IoT e as suas características estão evidenciadas na Tabela 7:

---

<sup>3</sup> Uma das linguagens de programação que vai dominar 2021.

Tabela 7- Características do sensor de fumo e gases tóxicos MQ-135

Sensor MQ-135	
<b>Tensão</b>	5V
<b>Sensibilidade</b>	Regulável desde 100ppm
<b>Saídas</b>	TTL <sup>14</sup> e analógica
<b>LED</b>	Vermelho de <i>power</i> e Verde de <i>trigger</i> (é ativado ao detetar fumo ou vapores)
<b>Dimensões</b>	32×22×27mm
<b>Preço</b>	6,03€



Este modelo é muito versátil pelo que além de fumo, também deteta sulfuretos, benzeno, álcool e gases voláteis como o gás butano e o metano (Arduino, 2018).

- **Sensor ultrassónico**

Quando o objetivo é medir distâncias, pode ser utilizado o sensor ultrassónico HC-SR04 para o *Raspberry Pi*. É capaz de emitir ultrassons de alta frequência (inaudíveis ao ouvido humano). Este sensor é composto por dois cilindros, um emissor para fazer o som ressaltar num objeto e voltar, e outro recetor capta o som e indica a distância alvo (Arduino, 2018).

A Tabela 8 sintetiza as suas características:

Tabela 8- Características do Sensor ultrassónico HC-SR04

Sensor ultrassónico HC-SR04	
<b>Tensão</b>	5V
<b>Alcance</b>	2cm a 4m
<b>Precisão</b>	3mm
<b>Pinagem</b>	4 pinos
<b>Ângulo de efeito</b>	15°
<b>Dimensões</b>	3×3cm
<b>Preço</b>	3,90€

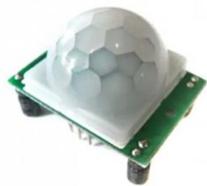


<sup>14</sup> Transistor-transistor logic (TTL).

- **Sensor infravermelho**

Um sensor infravermelho ou um PIR<sup>15</sup> é capaz de detetar movimento e medir através das variações no nível de radiação do corpo/objeto. Tal como os outros sensores acima descritos, está ligado ao *Raspberry Pi* e quando o sensor deteta movimento são elaboradas *scripts* em *Python* para mostrar mensagens no ecrã. Um exemplo de um sensor PIR é o sensor de deteção de movimento PIR HC-SR501 (*Comunidade Raspberry Pi Portugal*, n.d.). As suas características estão apresentadas na Tabela 9:

Tabela 9- Características PIR HC-SR501

<b>Sensor PIR HC-SR501</b>		
<b>Tensão</b>	5 a 20V	
<b>Temperatura</b>	-15°C a +70°C	
<b>Peso</b>	15g	
<b>Alcance</b>	7m	
<b>Dimensão</b>	32×24×18 mm	
<b>Preço</b>	4,90€	

- **Sensor de obstáculo infravermelho**

O sensor de obstáculo é um circuito composto por um emissor e um recetor IR, mais o CI comparador LM393, que facilita sua conexão com o Microcontrolador, *Raspberry Pi* ou *Arduino*. A Tabela 10 apresenta as suas características:

Tabela 10- Características Sensor de obstáculo infravermelho CI LM393

<b>Sensor de Obstáculo Infravermelho CI LM93</b>		
<b>Tensão</b>	3,3 a 5V	
<b>Alcance</b>	2 a 30cm	
<b>Dimensões</b>	37×14×6mm	
<b>Emissor e Recetor</b>	IR	
<b>Preço</b>	1,71€	

Este sensor é composto por um par de tubos emissores e recetores de infravermelho. Sempre que um obstáculo aparece na frente do sensor, o sinal é refletido para o recetor. Consequentemente o

<sup>15</sup> *Passive Infrared Sensor* (PIR).

pino de saída é colocado a zero e o LED verde acende. Estes tipos de sensores são adequados para uso em contadores e criação de alarmes.

- **Sensor de pressão**

Um sensor de pressão é um aparelho apto a fornecer um sinal elétrico ou ativar um contato sempre que a pressão ambiente alcança um valor pré-definido. O sensor de pressão MD-PS002 é capaz de medir a pressão absoluta bem como detetar fugas de pressão. A Tabela 11 apresenta as suas características:

*Tabela 11- Características sensor de pressão MD-PS002*

<b>Sensor de pressão MD-PS002</b>	
<b>Pressão absoluta</b>	150kpa
<b>Tensão</b>	5V
<b>Temperatura</b>	-40°C a +125°C
<b>Dimensões</b>	6,8×6,8×3,6mm
<b>Precisão linear</b>	±0,2% FS
<b>Preço</b>	6,15€



- **Sensor de Efeito Hall**

Um sensor de Efeito *Hall*, é um sensor capaz de medir a posição, velocidade e/ou movimento direcional. Por exemplo, a rotação de um motor de uma máquina sem ter contato físico com o mesmo e para isso, é feita uma ligação com o *Arduino* (*Eletrogate*, n.d.).

*Tabela 12- Características Sensor de Efeito Hall 32344E*

<b>Sensor de Efeito Hall 3144E</b>	
<b>Tensão</b>	3V a 5V
<b>Dimensões</b>	31×4×7mm
<b>Peso</b>	2g
<b>Preço</b>	2,82€



De entre as características apresentadas na Tabela 12, o sensor de Efeito *Hall* 3144E também apresenta uma boa relação custo/benefício. Este tipo de sensores é adequado para medir as velocidades de tingimento de máquinas de estampar.

- **Sensor de cor**

Torna-se possível detetar a cor dos objetos de forma rápida e precisa com o sensor de reconhecimento de cor TCS3200. Este sensor reconhece níveis de luz RGB (*Red-Green-Blue*) e envia esses dados para o *Arduino*, *Raspberry*, PIC<sup>16</sup> e outros modelos, o que permite a criação de sistemas eficientes de deteção de cor (*Eletrogate*, n.d.). A Tabela 13 resume as suas características:

Tabela 13- Características do sensor de cor TCS3200

<b>Sensor de cor TCS3200</b>	
<b>Tensão</b>	3 a 5V
<b>Alcance</b>	10mm
<b>Dimensões</b>	33×33×25mm
<b>Temperatura</b>	-40 a +85°C
<b>Preço</b>	8,90€



## 2.5 *Retrofitting* para a Indústria 4.0

Na Indústria, os empresários estão à procura de substituir os equipamentos mais antigos face a conseguirem acompanhar a evolução da I4.0. Em vez de substituir, adaptar estes equipamentos pode ser uma maneira mais fácil de começar a caminhada. O *Retrofitting* pode ser a solução para resolver problemas e prevenir falhas de muitos sistemas que não a estão a funcionar nas condições desejadas. Pode ser feito através de novas tecnologias *wireless*, sensores, *smarthphones*, *tablets* entre outras para atingir bons resultados, obter melhorias e oferecer uma maior segurança a todo o sistema de produção.

### 2.5.1 Definição

O *Retrofitting* pode ser definido como o processo de estender ou prolongar um sistema, como uma máquina ou uma linha de produção através da adição de funcionalidades que não tinha quando foi construída. Pode ser feito através da adição de novos componentes de *software*, *hardware* usando

---

<sup>16</sup> Microcontrolador PIC.

também novos protocolos de comunicação entre os componentes do sistema. Ao melhorar essas partes do sistema torna-se possível fazer um melhor diagnóstico e monitorização de dados e informações de forma a atender os requisitos do cliente de uma forma mais eficaz e rápida.

De um modo geral, o conceito resume-se à substituição das partes ou subpartes de máquinas existentes, por exemplo a substituição de motores velhos por novos, mais económicos, com as mais recentes tecnologias. A Figura 24 representa o processo de *Retrofitting* como via de migração para linhas de produção de uma empresa industrial (Ehrlich et al., 2015).

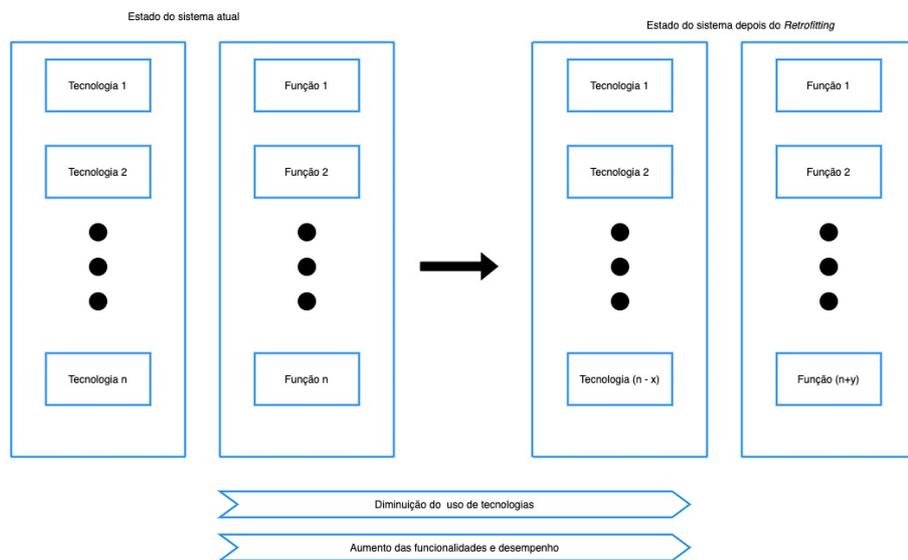


Figura 24- Processo de *Retrofitting* [adaptado de: (Ehrlich et al., 2015)]

O conceito de *Retrofitting* está envolvido em vários setores da indústria nomeadamente no setor têxtil no que diz respeito ao retrabalho de máquinas ou subpartes de máquina antigas. Assim torna-se possível melhorar a eficácia geral do equipamento (EN: *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)). Estas melhorias podem ser medidas através dos KPIs expondo a maturidade do sistema.

Faz parte dos objetivos de qualquer empresa, ter uma melhor tomada de decisão O programa da União Europeia (UE) *Horizon 2020* apresenta um exemplo de uma estratégia e implementação de *Retrofitting*. Descreve o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controlo de energia para uma linha de produção Industrial com *Retrofitting* de equipamentos. O sistema dá suporte aos operadores no *shop floor*, prevendo um aumento na eficiência energética e de recursos com consecutiva diminuição de custos e emissões de gases (INE, 2020).

## 2.5.2 Abordagem ao *Retrofitting*

Uma abordagem ao *Retrofitting* apresenta um modelo ou guia para todas as pessoas e empresas que são afetadas e envolvidas no sistema modificado. Com este apoio, elas possuem mais e melhor informação o que leva a uma melhor tomada de decisão nos vários níveis da gestão.

### 2.5.2.1 *Retrofitting as a Service*

O *Retrofitting as a Service* (RaaS) é um novo modelo de negócio que faz a ponte entre a I3.0 para a I4.0. O RaaS abrange a tecnologia *Plug and Play* (PnP) que possibilita um dispositivo ou um sistema de *hardware* ou *software* a configurar-se automaticamente e a outros dispositivos sem que seja necessário recorrer a parametrização manual. Uma abordagem ao RaaS é que tudo funciona como um serviço, nomeadamente quando são abordados sistemas de automação industrial.

As empresas usam este novo modelo de negócio de forma a oferecer serviços com bons preços para o *Retrofitting* em linhas de produção industriais. Assim, os sistemas terão novas funcionalidades como diagnóstico e monitoramento em tempo real.

É por isso que é necessário desenvolver uma camada de *middleware*<sup>17</sup> que permita uma permuta automatizada de dispositivos de uma linha de produção industrial. Esta camada deve conter diferentes módulos de *software* com interfaces PnP para PLCs, sensores, atuadores e HMI como se observa na Figura 25.

A camada de *middleware* pode ser armazenada externamente na nuvem, num sistema centralizado de dados em nuvem<sup>18</sup> que seja de acesso a todos os fornecedores. Através da partilha de dados e informações, com a adição de novas funcionalidades sem afetar o ambiente de trabalho garante-se um tempo de inatividade mínimo de modo a maximizar a receita total da empresa (Ehrlich et al., 2015).

---

<sup>17</sup> É o *software* do computador que reside entre o sistema operativo e as aplicações executada no mesmo. Funciona basicamente como uma camada de, que possibilita a comunicação e gestão de dados para diversas aplicações distribuídas (*Microsoft Azure*, n.d.)

<sup>18</sup> Esta rede de gestão em nuvem acaba por se tornar uma vantagem por possibilitar atualizações ou novas configurações a qualquer momento pela empresa.

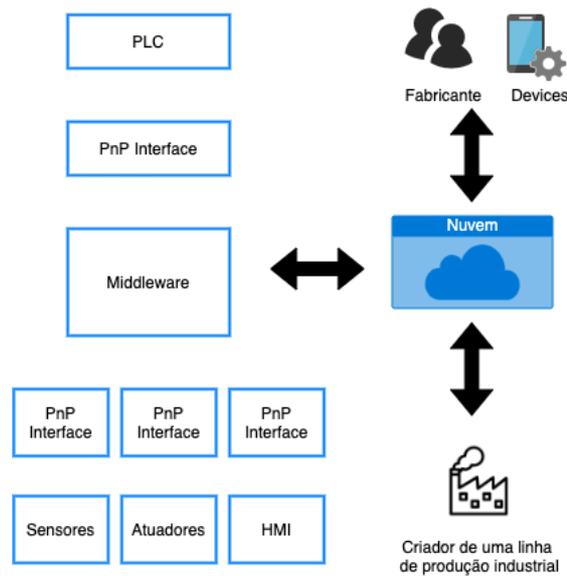


Figura 25- Arquitetura do RaaS [adaptado de: (Ehrlich et al., 2015)]

### 2.5.2.2 Remote Terminal Units

Uma outra abordagem ao *Retrofitting* é o *Retrofitting* de hardware com *Smart Remote Terminal Units* (RTU) que usufrui do uso de características de PnP, independência de plataformas, interoperabilidade e compatibilidade com os principais protocolos industriais.

Assumindo que cada componente de um equipamento industrial no seu estado inicial é composto por três camadas: A camada física, que engloba sensores e atuadores que interagem com o meio. A camada de processamento, onde os dados são processados e transformados. Por último, existe a camada de *interface* usada para o equipamento industrial expor os seus dados ou os receber de uma unidade de controlo externa, por exemplo através de um conjunto de entradas digitais.

É nesta camada que é acrescentado o RTU que permite:

- (i) Uma comunicação perfeita entre equipamentos de elevado desempenho.
- (ii) O processamento de dados no dispositivo independentemente do seu nível de complexidade (por exemplo, notificações vindas de sensores de temperatura que já incorporam recursos de processamento mínimo para comparação posterior).

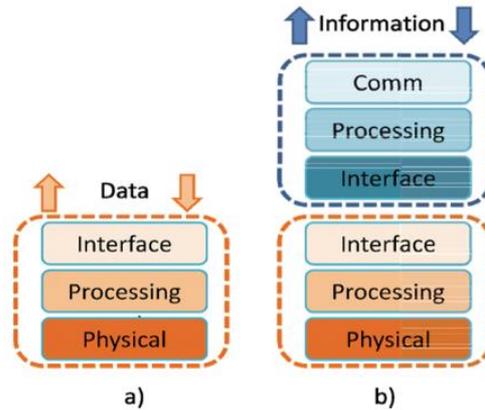


Figura 26- Equipamento industrial legado e equipamento industrial legado retrofido + Smart RTU respectivamente (Moctezuma et al., 2012)

Como é evidenciado na Figura 26, o equipamento industrial legado<sup>19</sup> retrofido apresenta agora três camadas: a de *interface* compatível com a da máquina, a de processamento que converte os dados em informações e a de comunicação que expõe as duas camadas anteriores. Uma *Smart RTU* pode interagir com um ou mais equipamentos industriais dependendo dos recursos da camada da sua *interface* (Moctezuma et al., 2012).

### 2.5.2.3 Retrofitting Factory

A *Retrofitting Factory* é uma outra abordagem ao conceito, que permite que uma fábrica ou um sistema de produção se torne o mais flexível possível para que consiga responder de forma rápida e eficaz às necessidades do mercado existentes (dizem respeito questões relacionadas com a customização e interoperabilidade). Além disso, enfrenta as mudanças sociais como a mudança em direção a uma produção de valor agregado<sup>20</sup> (VA), utilizando mínimo de recursos (energia) possível.

<sup>19</sup> Num contexto de computação, um sistema legado, pode-se referir a sistemas de computador ou processos desatualizados. Um sistema legado normalmente exige grande manutenção, devido à existência de problemas de compatibilidade, obsolescência e até falta de suporte de segurança (*Techopedia*, n.d.).

<sup>20</sup> Técnica para determinar o custo ou valor real do trabalho, sendo expresso em termos de orçamento.

O número de cenários possíveis durante implementação prática de *Retrofitting* numa fábrica torna-se grande. Podem estar presentes no balanceamento de uma linha de produção, na manutenção de equipamentos e até em sistemas de aquisição de informação.

Para garantir uma flexibilidade de adaptação é exemplificado uso e adição de novas peças de equipamentos aos sistemas em estudo. Por exemplo, o uso de sensores de luz conectados numa fábrica através de *wireless* onde o consumo de energia pode ser medido, ou a implementação câmaras inteligentes que permitam uma maior qualidade de inspeção do sistema.

De modo a localizar e visualizar as paletes de uma fábrica são implementados sensores de navegação *wireless*.

- (i) Giroscópio (para a direção da paleta).
- (ii) Acelerómetro (mede a aceleração da paleta).

Depois da implementação, surgem várias diferenças resultantes da avaliação do sistema original e o sistema retrofitado (depois de aplicado o *Retrofitting*). A Tabela 14 sumariza essas diferenças:

Tabela 14- Diferenças do sistema original e o sistema retrofitado [adaptado (Moctezuma et al., 2012)]

Caraterísticas	Sistema original	Sistema retrofitado
<b>Produção</b>	Produção em massa (produto único)	Reconfigurável (customização do produto)
<b>Integração horizontal e vertical</b>	Incompatível	Transparente
<b>Informação de segurança</b>	Não detalhada	Detalhada
<b>Uso dos dados de energia</b>	Nenhuns	Para controlo
<b>PnP</b>	Nem por isso	Sim
<b>Output</b>	Dados	Informação
<b>Comportamento dos componentes</b>	Passivo	Ativo
<b>Arquitetura de controlo</b>	Centralizada	Distribuída
<b>Dados</b>	Heterogéneos	Homogéneos
<b>Mensagens lidas pelo ser humano</b>	Não	Sim
<b>Protocolos de comunicação</b>	Aberto/proprietário	Proprietário
<b>IT</b>	Pobre	<i>Software e Hardware</i>
<b>Monitoramento remoto</b>	Através do <i>middleware</i>	Diretamente do dispositivo

### 2.5.3 Etapas para uma Estratégia de *Retrofitting*

Uma estratégia de *Retrofitting* compreende um conjunto de etapas a serem seguidas para obter os resultados desejados. De modo a validar o conceito de *Retrofitting*, é aplicado um teste de *Retrofitting* numa empresa têxtil alemã de pequeno e abrange os seguintes passos:

- (i) Fez-se uma coordenação juntamente com o gestor da área produção para uma seleção de parte das máquinas sem unidade de controlo e sem sensores, ou seja, máquinas que precisavam especificamente do *Retrofit*.
- (ii) Testou-se o conceito junto com o gestor da área da produção e o gestor da área da manutenção e o especialista em TI da empresa. Primeiro fez-se a introdução do conceito e segundo explicou-se qual o procedimento a adotar através da Figura 27:



Figura 27- Diretriz para aplicação do conceito de Retrofitting (Franke et al., 2020)

- (iii) Fez-se avaliação do estado atual da máquina com ajuda dos operários e foram definidos quais os objetivos a traçar pela empresa para atingir os resultados esperados. Neste caso, a empresa definiu como objetivo, a medição da temperatura das máquinas, para deduzir o seu estado de operabilidade (que anteriormente era feito pelos próprios operários). O técnico de TI também descreveu as especificações técnicas da máquina relevantes, sendo a segurança dos dados considerada muito importante, e por isso, uma solução baseada em nuvem, seria de rejeitar.
- (iv) Com base na informação e avaliação acima descrita, aplicaram-se:
- Sensores de temperatura.
  - Sistema de PLC.
  - Servidor centralizado para armazenamento.
  - Transferência criptografada com fio entre as unidades.
  - Sensor adicional de temperatura ambiente.

Este último sensor foi adicionado para a fase de otimização. O uso de dados em tempo real também foi tópico discutido e apoiado pela modularidade do conceito na escolha de sensores, como o uso *displays* para visualização de dados.

- (v) Validou-se a estratégia, que teve êxito. A empresa decidiu adotar a solução e proceder para a terciarização para o seu contratante eletrônico.

Concluiu-se que avaliação do estado atual e das especificações técnicas são úteis para os operários fazerem deduções do estado atual na máquina para quando agirem não incidirem nas restrições técnicas da mesma. Todos os tomadores de decisão, independentemente da área devem ter interferência no processo. Os processos e condições internas são muito importantes, nomeadamente a segurança dos dados. As empresas alemãs carecem ainda de estratégias estruturadas para a implementação da I4.0, sendo este estudo confirmado segundo um teste real (Franke et al., 2020).

### 2.5.4 Programmable Logic Controller

Um *Programmable Logic Controller* (PLC), também conhecido como Controlador Lógico Programável, é o nome dado a um tipo de computador usado em muitas aplicações de controlo industrial. Os PLC diferem dos computadores ditos normais nos tipos de tarefas que executam, e no seu *hardware* e *software* que precisam para executar as mesmas. Os elementos principais de um PLC são o *input*, uma CPU, um *output* e um dispositivo de programação.

Pode-se dizer que um PLC (representado na Figura 28), é o cérebro da máquina e no caso do *Retrofitting*, uma peça essencial para a automação de sistemas complexos. A máquina resume-se ao PLC em que interpreta os sinais de entrada vindos de sensores e executa determinada função na saída acionando os atuadores (*EEP - Electrical Engineering Portal*, n.d.).

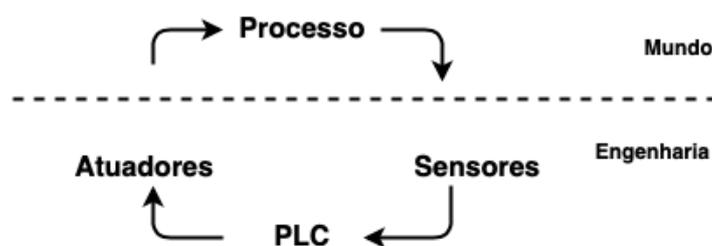


Figura 28- Esquema de um controle de processo via PLC [adaptado de: (Grams & Cetnarowski, 2014)]

### 2.5.5 Benefícios

A *General Electric* (GE), empresa Norte-Americana envolvida no fabrico de motores para aeronaves manifesta que o *Retrofitting* é um negócio competitivo. Há grande atividade nas indústrias de equipamentos de construção, criação de energia, aeroespacial, onde são usadas máquinas de elevados investimentos. O *Retrofitting* pode oferecer benefícios significativos como:

- **Baixo preço**

A GE prevê que um *retrofit*, reconstrução ou remanufatura de um sistema, custe algo entre 1/3 a 2/3 do custo de aquisição de comprar uma máquina nova. É importante ter em atenção não só os preços de compra como também os custos adicionais de montagem, transporte, programação da peças e especialização do pessoal.

Quando comparado a não fazer nada, e continuar a aceitar o desempenho atual da máquina, o *retrofit* também é vantajoso. Isto acontece porque um equipamento no final da sua vida útil

pode precisar de peças que são mais difíceis de encontrar, a lei da oferta e procura aumenta, sendo que o preço aumenta e o tempo total de inatividade associado à falha também aumenta.

- **Melhor desempenho**

A forte integração dos sistemas atuais com sistemas avançados como sistemas de Controlo Numérico Computorizado (CNC) e acionamento digital combinado com comunicações *Ethernet* de alta velocidade, torna os processos e ajustes da máquina cada vez mais automáticos. Estas ferramentas e novas tecnologias também são usadas por Engenheiros para análise de dados no domínio da frequência, e para isso, pode-se utilizar a transformada rápida de *Fourier* (FFT).

Outro avanço, são os sistemas de diagnóstico, permitindo que tudo, desde temperatura de um motor, até ao desvio da posição da ferramenta da máquina sejam exibidos. Mensagens de erro para cada potencial problema e soluções comuns também podem ser fornecidas.

- **Ganhos em termos de energia**

No caso de sistemas antigos, durante uma operação normal, a energia é despejada em resistores de regeneração por estes sistemas, queimando eletricidade relativamente cara. Através de *drivers* de inovação, com dispositivos eletrónicos avançados, empurram a energia elétrica de volta para a linha. Isto faz com que os custos de eletricidade possam reduzir entre 30-50%, justificando assim o investimento no *Retrofitting*.

- **Melhoria do *mean-time-between-failures* (MTBF)**

Uma das diferenças entre os sistemas antigos e retrofitados reside em estes apresentarem eletrónicos integrados nas máquinas que permite que um valor de tempo médio entre falhas (MTBF) excedente a 10 anos. Esta proteção contra erros, ajuda a evitar o tempo de inatividade de uma máquina.

- **Melhoria do *mean-time-to repair* (MTTR)**

Os avanços na tecnologia de *Retrofitting*, juntamente com o uso de um *software* associado, permitem alertar os operadores e pessoal da área da manutenção antes de um problema ocorrer permitindo que seja possível tomar ações preventivas de forma automática. De forma

a reduzir o tempo de médio de reparo (MTTR), os engenheiros industriais podem assim visualizar as máquinas remotamente nos ecrãs, de modo a comunicar rapidamente de forma a solucionar o problema existente (GE Fanuc, n.d.).

Justificar o investimento no *Retrofitting* pode ser semelhante a qualquer outro tipo de investimento. Através da contabilização de todos os custos e benefícios financeiros, é possível se calcular o Retorno sobre o Investimento (ROI). Assim, feita esta análise, uma empresa é capaz de decidir se lhe interessa investir, não investir ou adiar uma estratégia de *Retrofitting* (GE Fanuc, n.d.).

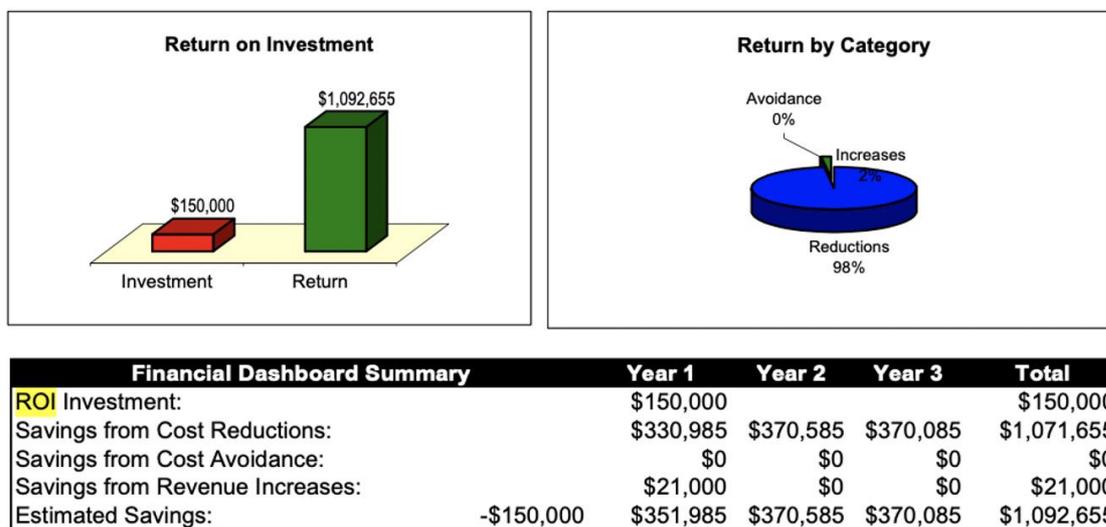


Figura 29- ROI de um Financial Dashboard (GE Fanuc, n.d.)

Na Figura 29, verifica-se que uma empresa que invista 150,000\$, num projeto de Retrofitting, consegue obter um retorno de 1,092,655\$, que acaba por ser uma melhoria na empresa.

### 3. ESTRATÉGIA DE *RETROFITTING*

Em qualquer empresa, a importância de ter uma *Strategy* e *Vision*, é a base para construir um *Roadmap*, ou seja, uma espécie de modelo de suporte operacional para oferecer às empresas. Estes três conceitos quando juntos fornecem uma ferramenta crucial para criar planos de sucesso e atingir os objetivos projetados nas empresas. Considerou-se o seguinte modelo de diagrama, descrito na Figura 30, para uma estratégia genérica de *Retrofitting* fundamentado em sete passos.



Figura 30- Diagrama para uma estratégia de *Retrofitting*

### **3.1 Avaliação da máquina**

Sendo uma máquina considerada um dos ativos de uma empresa, a sua gestão eficaz, tem um papel fundamental na otimização de processos. Para isso deve ser feita uma análise da máquina da sua condição inicial de forma a assegurar uma boa estratégia de *Retrofitting*.

#### **3.1.1 A máquina e as suas principais características**

Para definir uma estratégia, primeiro é necessário estudar qual a máquina e as suas especificações técnicas.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 103/2008, de 24 de Junho, é definida como máquina:

- (i) Conjunto, equipado ou destinado a ser equipado com um sistema de acionamento diferente da força humana ou animal diretamente aplicada, composto por peças ou componentes ligados entre si, dos quais pelo menos um é móvel, reunidos de forma solidária com vista a uma aplicação definida.
- (ii) Conjunto de máquina que, para obtenção de um mesmo resultado, estão dispostas e são comandadas de modo a serem solidárias no seu funcionamento.
- (iii) Um equipamento intermutável que altera a função de uma máquina, que é colocado no mercado com a finalidade de ser montado pelo próprio operador, por exemplo: numa máquina ou conjunto de máquinas, como também num trator, desde que esse equipamento não constitua uma peça sobressalente num uma ferramenta (Decreto Lei N.º 103/2008 de 24 de Junho, 2008).

Quatro estruturas (arquiteturas) de uma máquina:

- Arquitetura física: Atribui-se às peças e aos componentes da máquina.
- Arquitetura funcional: Refere-se às funções da máquina e como é que ela é operada.
- Arquitetura operacional: descreve o modo de como é que a máquina é gerida e mantida.
- Arquitetura contextual: refere-se às *interfaces* da máquina (internas e externas).

O diagrama de contexto apresentado na Figura 31 identifica os vários componentes da máquina, a sua interação com as partes interessadas e as condições a que estão sujeitas. Fazem parte: engenheiros, operadores, técnicos de manutenção, as condições ambientais, o sistema de

lubrificação, sistema de comando, sistema de segurança, especificações técnicas, *design* e outros componentes.

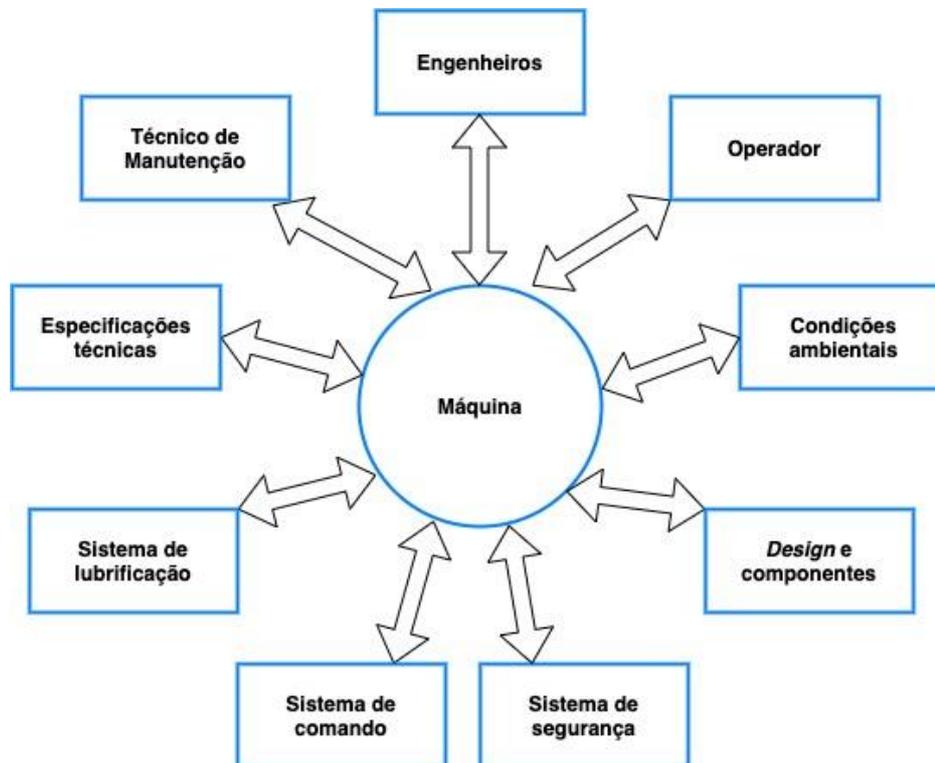


Figura 31- Exemplo de um diagrama de contexto da máquina

É importante desenvolver o diagrama acima apresentado no início do projeto pois facilita a compreensão e coordenação entre todos os envolventes na máquina. Ajuda também na definição de metas e objetivos a alcançar pela empresa de modo a garantir um melhor desempenho da máquina e de todo o sistema de produção.

### 3.1.2 Ciclo de vida da máquina

O ciclo de vida de uma máquina, é todo o seu processo de envelhecimento desde o seu desenvolvimento até ser posta de lado. É um modelo usado por engenheiros para descrever como é que a máquina amadurece ao longo do tempo. Referem-se sete fases: planeamento e desenvolvimento, *design*, modelo de simulação, instalação, operação e controlo, manutenção e maximização da produtividade e por fim a reciclagem.

No momento de definir quando é apropriado aplicar a estratégia de *Retrofitting*, os engenheiros e respectivas empresas têm que decidir se modificam a máquina atual, ou a substituem. A Figura 32 representa as várias fases do ciclo de vida de uma máquina:



Figura 32- Fases do ciclo de vida de uma máquina [adaptado de: (Plattform Industrie 4.0, 2015)]

- **Planeamento:** esta fase é a mais importante de todo o processo para que se atinga o sucesso. São definidos os objetivos, equacionados casos de uso e é avaliado o processo de negócio.
- **Design:** esta fase está sincronizada com a anterior e é fixada qualquer modificação que tenha de ser feita na máquina em relação à fase do planeamento.
- **Modelo de simulação:** é feito antes da implementação e corresponde a testes feitos de tudo o que foi planeado permitindo avaliar a máquina.
- **Instalação:** esta fase é por norma a mais rápida e é na qual a máquina é instalada, configurada e integrada fisicamente na fábrica. Ainda se faz uma integração aos operadores para a sua familiarização, preparação e prática.
- **Operação e controlo da máquina:** costuma ser a fase mais longa e substancial da máquina. É quando a máquina está a executar determinado processo e através de um controlo de operações, os dados podem ser coletados e observados para posteriores tomadas de decisão. É nesta fase que surge e é aplicada a estratégia de *Retrofitting* da máquina.
- **Manutenção:** esta fase pode estar incluída na anterior. Para que a máquina tenha uma vida mais longa com mais eficiência e produtividade, é necessário se garantir umas boas condições de funcionamento. Através de programas de manutenção, inspeção, limpeza, entre outros, assim como a substituição, arranjos e ajustes de peças e componentes das máquinas garante uma funcionalidade ideal.
- **Reciclagem:** momento no qual o desempenho da máquina já não é rentável. A máquina pode sofrer desgastes e não estar a conseguir atender aos requisitos de produção. É chegada

a decisão de renovar ou deitar fora a máquina. Uma abordagem prática para tomar esta decisão é que se o custo de reparar for maior que o custo para substituir, deve-se deitar fora a máquina.

Por exemplo, uma máquina com uma longa vida operacional pela frente (dependendo da sua vida esperável, pode durar meses, anos ou até décadas) e ainda estar em bom funcionamento e portanto é viável modificar a máquina através da adição de novas tecnologias. Caso contrário, a aplicação de novas tecnologias poderá ter custos de aquisição elevados.

### 3.1.3 Avaliação da condição e estado atual da máquina

Com frequência, as máquinas de uma empresa mais antigas, consideram-se ultrapassadas e não têm conexão com bases de dados de gestão interligadas ao processo de produção. Torna-se necessário avaliar a máquina no seu estado inicial para identificar o que é que a máquina realmente precisa. Essa análise pode ser feita através de uma lista de verificação das condições iniciais da máquina antes da implementação do *Retrofitting* apresentada na Tabela 15:

Tabela 15- Checklist da máquina inicial

Checklist	Máquina inicial
Bom estado de conservação?	
Conexão à Internet?	
Sensores embutidos?	
Regista os dados de energia?	
Tecnologia PnP?	
Controlo por PLC?	
Controlo por CNC?	
Configuração manual?	
Sistema de paragem automático?	
Sistema de lubrificação automático?	
Sistema de limpeza automático?	
Monitoramento remoto?	

Esta ferramenta pode auxiliar no controlo, análise e melhoria dos processos da máquina.

### 3.1.4 Breve descrição do processo associado

Um processo pode ser definido como uma atividade ou um conjunto de atividades que usam e tratam dos recursos de forma a permitir a transformação de entradas (*inputs*) em saídas (*outputs*). A Figura 33 esquematiza o processo de fabrico de uma máquina. Geralmente, a saída de um processo leva a uma entrada direta no seguinte.

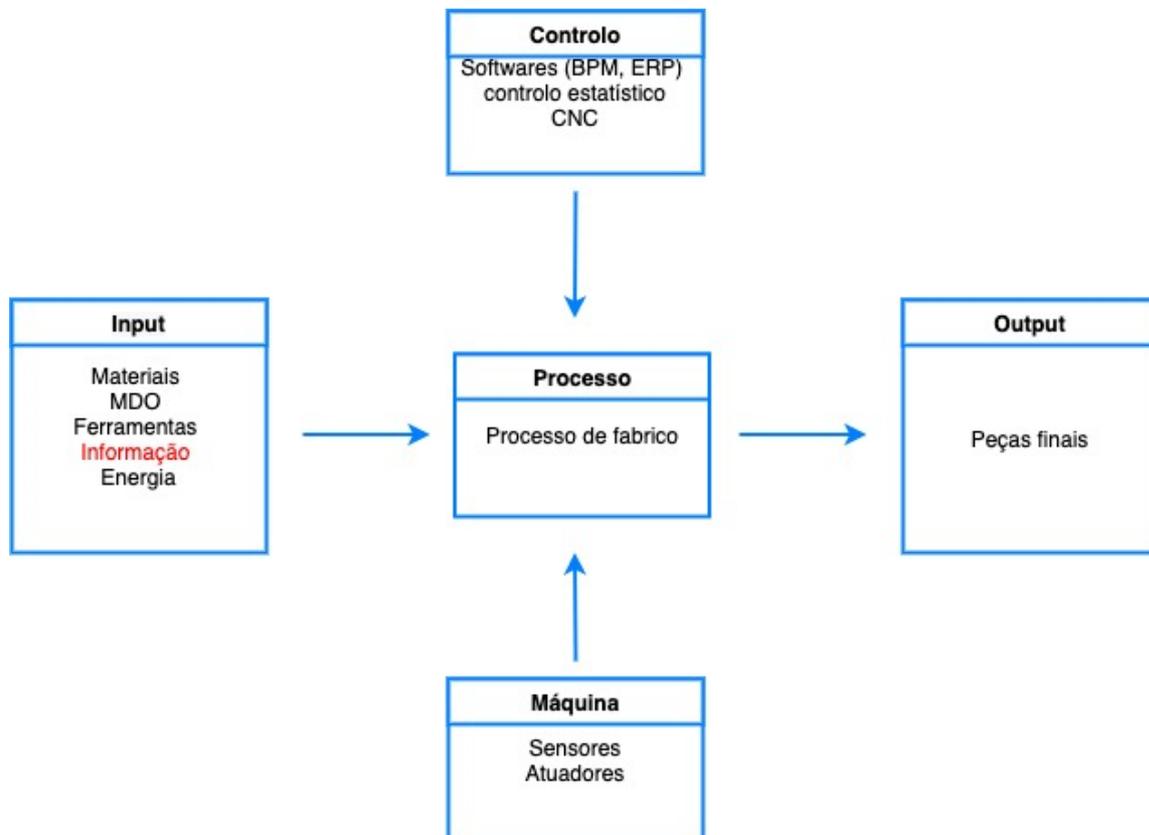


Figura 33- Processo de fabrico da máquina

- *Input:* o *input* do processo refere-se aos fatores de produção necessários para o processo. Deu-se ênfase à informação, ou seja, todo o conhecimento necessário para transformação do *input* no *output* do processo, sendo um aspeto crucial para o sucesso da empresa.
- *Output:* o *output* refere-se aos produtos finais produzido pela máquina.
- *Processo:* refere-se a todo o processo de fabrico.
- *Máquina:* definida anteriormente.
- *Controlo:* através do controlo do processo, a empresa torna-se capaz de criar e analisar os processos essenciais para o desempenho da máquina adaptando-se a novas necessidades do mercado. A criação, análise e ajuste de processos pode ser feito de uma forma simples e automatizada através do *Enterprise Resource Planning* (ERP) e *Business Process Management* (BPM). Os gráficos de controlo são outra ferramenta usada no controlo

estatístico de processos que permite identificar as falhas e não conformidades no fluxo de trabalho através de indicadores de desempenho. O controlo por CNC também possibilita a receção de informações e envio de sinais à máquina.

Em suma, deseja-se alcançar um processo flexível, sustentável e o mais eficiente possível com vista a melhorar e otimizar a produção minimizando os custos e antecipando possíveis falhas.

### **3.2 Identificação de quais os dados a extrair**

Atualmente, várias empresas lidam com grandes quantidades de dados vindos da máquina e/ou processo produtivo. No entanto, poucas são as que usam os dados que realmente importam. E portanto, torna-se necessário identificar quais os dados e informações que necessitam de ser extraídos da máquina:

- Parâmetros *setup* da máquina, para garantir uma máquina de confiança.
- Parâmetros do processo da máquina, para assegurar um processo de confiança.
- Possíveis falhas da máquina, para certificar que está num bom estado de manutenção.

#### **3.2.1 Parâmetros de *setup* da máquina**

Qualquer máquina antes de iniciar o seu processo de produção necessita de estar preparada para estar em perfeitas condições de funcionamento que vão de encontro aos requisitos do operador e do produto pretendido. Para garantir essas condições de funcionamento, deve ser feita uma identificação correta dos parâmetros e variáveis *setup* a inserir na máquina que afetam o desempenho desta e interferem no produto final.

Procedeu-se à caracterização das variáveis de *setup* da máquina em três passos:

- 1º Entender e descrever as variáveis que afetam todo o processo de produção.
- 2º Definir em que unidades estas variáveis são medidas.
- 3º Definir os limites de operação aceitáveis para cada uma das variáveis. Na definição destes limites importa definir um limite superior e um inferior, assim, os resultados desses limites devem ficar dentro desse intervalo.

A Tabela 16 apresenta alguns exemplos de variáveis definidas para o *setup* de uma máquina:

Tabela 16- Exemplos de variáveis definidas para o setup de uma máquina

Nome da variável	Unidades	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura	°C	-30	70
Humidade	%	0	100
Vibração	mm/s	0	25
Pressão Atmosférica	bar	0	1.6
Pressão do ar	bar	0	10
Velocidade	RPM	0	50

É importante controlar a evolução temporal destas variáveis para garantir que estão dentro dos limites desejados. Quando estas variáveis tendem a mudar ao longo do tempo, surge um problema de controlo.

### 3.2.2 Parâmetros de controlo do processo

As operações de produção da máquina são caracterizadas por variáveis e parâmetros de controlo do processo associado. Na indústria do processo considera-se dois grupos:

- (i) Os parâmetros e variáveis contínuas em que estas variáveis não são interrompidas no tempo podendo assumir qualquer valor dentro de uma gama. Pretende-se controlar a variável de saída dentro de um limite mínimo e máximo. São exemplos a temperatura, velocidade e pressão.
- (ii) As variáveis discretas são alteradas em momentos discretos no tempo e ocupam um número finito de valores entre dois valores de uma determinada gama. São normalmente do tipo binário e *ON/OFF*.

Na Tabela 17, são exemplificados alguns parâmetros que podem ser medidos durante a operação da máquina, sendo que a última coluna deverá ser preenchida com possíveis sensores a adicionar posteriormente.

Tabela 17- Exemplos de parâmetros da condição da máquina

Tipo de Propriedades	Parâmetros a serem medidos	Sensores
<b>Físicas</b>	Temperatura	
	Pressão	
	Humidade	
<b>Movimento</b>	Posição	
	Fluxo	
	Velocidade	
	Velocidade angular	
	Aceleração	
	Força	
<b>Dinâmica</b>	Torque	
	Vibração	
	Tensão	
	Proximidade	
<b>Presença</b>	Contato	
	Distância	
	Movimento	

A aquisição de dados do processo, analógicos e/ou digitais da máquina em tempo real vai servir não só para controlo (de defeitos), mas também para informação estatística do processo. A Tabela 18 mostra diferentes parâmetros, que se consegue medir através de sensores:

Tabela 18- Outros parâmetros do processo

Parâmetros	Sensores
Horas de operação máquina	
Nº de paragens planeadas	
Nº de paragens não planeadas	
Quantidade produzida	
Quantidade de produtos conformes	
Quantidade de produtos defeituosos	
Custos de mão de obra	
Custos de operação	
Nº de intervenções	
Tempo de inatividade não programado	
Nº de avarias	
Tempo de inatividade programado	
Tempo total (inclui o tempo de inatividade)	
Consumos	

### 3.2.3 Falhas e problemas mais comuns da máquina

Outra forma de identificar quais os dados relevantes a serem extraídos da máquina de modo a garantir um melhor funcionamento da mesma e de todo o sistema produtivo é através da análise da sua fiabilidade<sup>21</sup>. Depois de perceber quais as falhas/problemas mais comuns na máquina e as suas respetivas causas, é possível antecipar uma falha ou avaria evitando-se assim parar a produção e a substituição da máquina pode ser feita em horas de produção.

Conforme a norma NP EN 13306:2007, define-se avaria como “*Cessação da aptidão de um bem para cumprir uma função requerida.*” Avaria e falha são sinónimos sendo que a avaria dirige-se mais ao equipamento, à máquina como um todo, e a falha a um órgão deste.

Para a identificação das falhas, referem-se três momentos necessários:

- **Tipo/Natureza de falha:** A falha de uma máquina pode acontecer de maneira rápida (Falha catastrófica) ou de maneira progressiva (Falha por degradação) (Assis, 2014). A Figura 34 exemplifica este conceito:

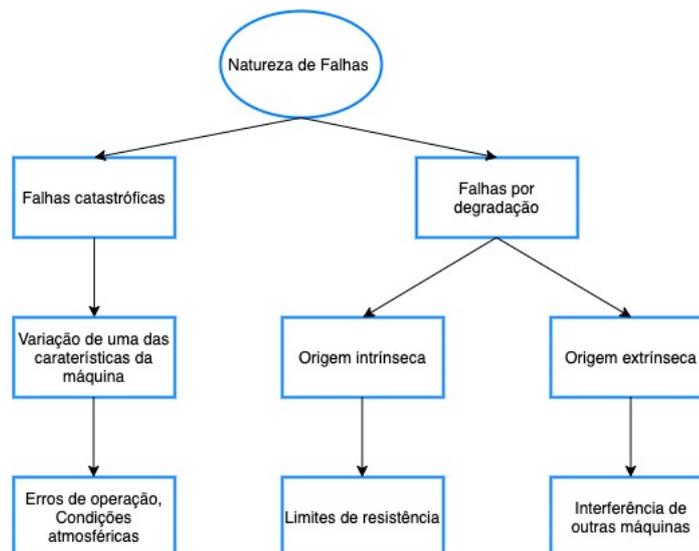


Figura 34- Tipos de Falhas [adaptado de: (Assis, 2014)]

---

<sup>21</sup> Em engenharia, a fiabilidade é definida como medida de capacidade de um produto operar sem falha, ou seja, a probabilidade da operação ocorrer sem falha (Assis, 2014).

- Gravidade da falha:** Atribuíram-se quatro tipos de gravidade:
  - A- Alta.
  - M- Média.
  - B- Baixa.
  - I- Insignificante.
- Motivos de falha:** Através do conhecimento prévio da *Fault Tree Analysis* (FTA), identificam-se quais as falhas e problemas mais comuns da máquina (ver Figura 35). A FTA é uma técnica padrão que serve para determinar a combinação lógica de eventos e falhas de componentes que levariam a uma falha específica da máquina ou do evento principal. A taxa da falha pode ser calculada multiplicando a taxa da falha individual de cada função, incorporada às árvores usada no cálculo da disponibilidade de produção. Com base nessas projeções, os operadores e engenheiros conseguem atuar de forma a reduzir o risco de falha.

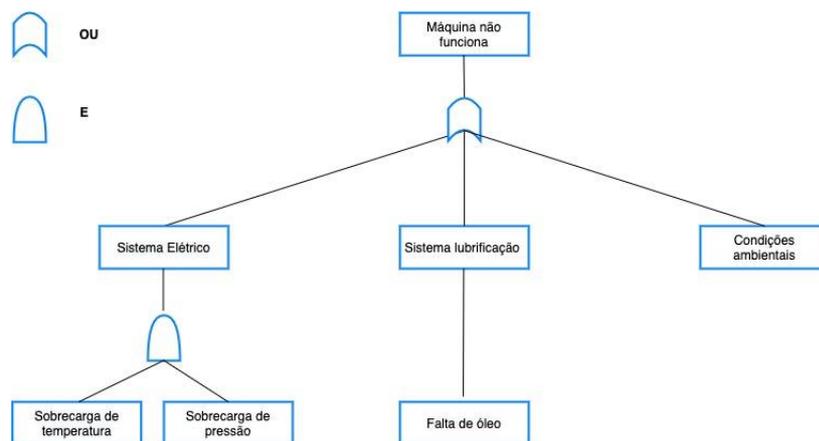


Figura 35- Exemplo FTA de uma máquina

Posteriormente deve-se proceder à distribuição das falhas no gráfico circular abaixo apresentado:

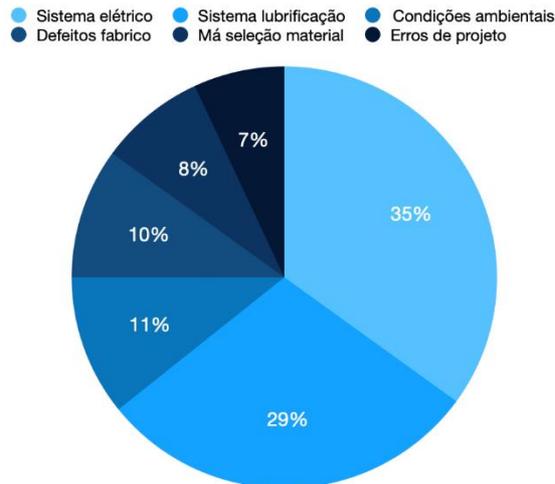


Figura 36- Exemplos da distribuição de causas de falhas mais comuns de uma máquina

- Sistema elétrico: sobrecargas que podem ser de temperatura, vibração ou pressão.
- Sistema de lubrificação: ausência ou inadequada lubrificação da máquina.
- Condições ambientais: existência de pó, exposição a altas temperaturas e humidade relativa entre outros.
- Defeitos de fabricação: tensões persistentes na máquina, aparecimento de porosidades ou desalinhamentos de ferramentas da máquina.
- Má seleção do material: incorreta seleção de materiais ou produtos a inserir na máquina.
- Erros de projeto: informação incompleta sobre as condições de operação da máquina.

As % dos motivos de falha distribuídas no gráfico da Figura 36 foram distribuídas aleatoriamente.

### 3.3 Avaliação dos objetivos dos *stakeholders* envolvidos

#### 3.3.1 Necessidades, requisitos e critérios para áreas de Gestão

A Gestão global de uma organização preocupa-se em resolver problemas através de soluções satisfatórias e inovadoras que defendem os seus valores e ponto de vista. A Gestão divide-se em várias áreas, cada uma com as suas próprias necessidades, requisitos e critérios de aceitação para atingir os objetivos desejados. A Tabela 19 descreve as necessidades, requisitos e critérios para cada *stakeholder* envolvido, que se acharam relevantes na definição de uma melhor estratégia de *Retrofitting*. Os *stakeholders* dividem-se por cinco áreas de Gestão, nomeadamente: Gestão da Produção (GP), Gestão da Qualidade (GQ), Gestão Comercial (GC), Gestão da Manutenção (GM) e Gestão da Sustentabilidade (GS).

Tabela 19- Stakeholders e as suas necessidades, requisitos e critérios

ID	Stakeholders	Necessidades	Requisitos	Critério
<b>GP</b>	<b>Gestão da Produção</b>	Stock. Produtividade (homem e máquina). Eficiência <sup>22</sup> .	Maximizar a produção com consumo mínimo de recursos. Identificar discrepâncias em tempo real. Controlo da eficiência da linha de produção.	Monitorização em tempo real do processo de produção.
<b>GQ</b>	<b>Gestão da Qualidade</b>	Conformidade e qualidade dos produtos.	Garantia e controlo de qualidade. Redução de anomalias.	Sistema de gestão da qualidade. Visualização dos perfis de temperatura e/ou velocidades.
<b>GC</b>	<b>Gestão Comercial</b>	Cumprimento prazos de entrega. Qualidade serviços. Controlo de custos.	Ausência de desperdícios (boa utilização de recursos económicos). Assegurar a existência de MP. Economia da operação.	Comparações e análise de tempos de resposta. Cálculo da % taxa de defeitos por unidades, taxa de rejeição e taxa de aprovação na inspeção.
<b>GM</b>	<b>Gestão da Manutenção</b>	Tempo de manutenção. Segurança da máquina.	Utilização do capital mínimo na MDO, maquinaria e instalações. Manutenção dos recursos.	Consertos, inspeções, rotinas preventivas, substituições de peças, trocas de óleo, limpezas, pinturas, emenda de defeitos e substituição de componentes já desgastados.
<b>GS</b>	<b>Gestão da Sustentabilidade</b>	Bom desempenho e reduzido impacto ambiental.	Redução do consumo de água e energia. Assegurar boa gestão dos recursos. Cumprir a política ambiental.	Dispositivos conectados à rede.

<sup>22</sup> A eficiência operacionaliza-se através de indicadores de produtividade.

- **Gestão da Produção**

Numa empresa industrial, a área da produção é por norma a que causa um maior impacto. A produção é responsável pelo fabrico dos produtos e engloba o planeamento de materiais, a execução, controlo e monitorização.

A GP é uma área que tem por foco a conjugação apropriada dos recursos produtivos, com o propósito de se alcançar determinados objetivos operacionais, como a eficiência, controlo de prazos, qualidade, entre outros.

Hoje em dia, há sistemas informatizados de apoio à GP, como o sistema ERP que programam a produção e o cálculo da sua carga. Em alguns casos os dados têm que ser manualmente ajustados pelo operador, daí a importância de os extrair da máquina.

Interessa monitorizar o processo de produção no contexto de montagem física e determinar se a produção está adiantada, de acordo, ou atrasada. A mistura de informações digitais com visões das máquinas em tempo real, permite que os operários ou engenheiros do local validem a qualidade do seu trabalho, identifiquem as discrepâncias e tirem partido disso através de um curto ciclo de comunicação com a equipa do escritório.

- **Gestão da Qualidade**

A qualidade pode ser abordada por diferentes perspetivas. Por um lado, para *Juran*, qualidade entende-se como a satisfação do cliente através da aptidão ao uso do produto ou serviço. Por outro, para *Crosby*, a qualidade é a conformidade com as especificações (Lopes et al., 2020).

A GQ preocupa-se em garantir e verificar se os produtos a ser fabricados na máquina estão de acordo com as especificações definidas de modo a atender aos requisitos dos clientes. Outras exigências como normas internas, definidas pelos gestores da empresa fixando tolerâncias, ou externas, definidas por organismos privados ou públicos, também devem ser cumpridas.

Avalia-se a qualidade através de comparações feitas por outras empresas ou organizações como o Instituto Português de Qualidade ou ainda através de testes de conformidade. O aperfeiçoamento da qualidade passa pelo investimento e formação em tecnologia.

- **Gestão Comercial**

Para qualquer empresa, interessa saber se está a produzir eficientemente. Eficiência significa ausência de desperdícios onde os recursos da economia são utilizados tão bem quanto possível para satisfazer as necessidades e os desejos dos clientes. A GC preocupa-se em fortalecer a competitividade da empresa no mercado. A Gestão de Materiais também pode estar aqui integrada, onde é assegurada a disponibilidade das matérias primas, peças e componentes necessários ao processo de produção, nas quantidades exigidas, no momento exato.

- **Gestão da Manutenção**

A Manutenção pode ser definida como um conjunto de atividades necessárias para manter uma máquina nas condições de operação desejadas ou restaurá-la para assim as ter. A GM surge como uma necessidade de pôr em prática o conceito de Manutenção, com o objetivo de otimizar todo o ciclo de vida da máquina (Pintelon & Parodi-herz, 2008).

Para manter a máquina em perfeitas condições de funcionamento são necessários consertos, inspeções, rotinas preventivas, substituições de peças, troca de óleo, limpezas, pinturas, emenda de defeitos, substituição de componentes já desgastados, entre outros, dependendo das necessidades da máquina.

Contudo, a ação da GM varia em função do tipo de indústria e tem efeito variáveis como: a disponibilidade financeira no momento, o nível de produtividade desejado, a qualidade de fiabilidade da matéria prima, a duração prevista das máquinas, a qualidade do produto e da competência do pessoal da manutenção.

- **Gestão da Sustentabilidade**

Avaliar a sustentabilidade simultaneamente com tecnologia e inovação tem sido uns principais desafios que as empresas enfrentam atualmente. As expectativas da sociedade têm vindo a aumentar em relação à atenção que a empresa dá à sustentabilidade. A regra dos 3P's (*People, Profit and Planet*) é um exemplo disso. As legislações tornam-se cada vez mais exigentes no que toca a requisitos ambientais e saúde ocupacional (Pintelon & Parodi-herz, 2008).

A GS ajuda as empresas a identificar, gerir, monitorizar e controlar o seu sistema ambiental de forma holística. A ISO 14001<sup>23</sup>, é essencial no processo de implementação, manutenção do sistema produtivo e adapta-se a todas as organizações, independentemente da sua dimensão.

Através da implementação de novas tecnologias como dispositivos, conectados à rede é possível resolver problemas como:

(i) Poluição do Ar: A IoT possibilita a medição e controlo dos poluentes e consequentemente melhoria na qualidade do ar que circula numa máquina ou fábrica.

(ii) Gestão de Resíduos: Bastante importante e relacionada com a preservação do meio ambiente, promoção da saúde das pessoas e gestão de ações para a promoção à sustentabilidade.

### **3.3.2 Principais KPIs para cada área de Gestão**

Na Tabela 20, identificaram-se 19 KPIs distintos considerados relevantes que serão questionados e classificados de acordo com o seu grau de importância/prioridade quer individual, quer associado a uma área Gestão.

Atribuíram-se os graus:

- 1- Pouco Interesse.
- 2- Interesse.
- 3- Muito interesse.
- 4- Obrigatório.

---

<sup>23</sup> A ISO 14001:2015 analisa requisitos para a gestão mais efetiva dos aspetos ambientais das atividades de uma empresa, tendo em consideração a proteção ambiental, prevenção da poluição, cumprimento legal e necessidades socioeconómicas (SGS, n.d.).

Tabela 20- Atribuição dos KPIs a diferentes áreas de Gestão

Áreas de Gestão	KPI	Grau de importância/prioridade individual	Grau de importância/prioridade de KPI por área de Gestão
<b>GP</b>	Capacidade de produção <sup>24</sup>		
	Tempo de ciclo (TC)		
	LT		
	Eficiência		
	OEE		
	Taxa de utilização das máquinas		
	Tempo <i>setup</i>		
	Produtividade linha		
	Custo por máquina		
<b>GQ</b>	% de produtos conformes		
	% de produtos rejeitados		
<b>GC</b>	% entregas a prazo		
	% vendas		
	Custo por máquina		
<b>GM</b>	MTBF		
	MTTF		
	OEE		
	Tempo de inatividade		
	Tempo de inatividade não programado		
<b>GS</b>	Taxa de sucata		
	Taxa de emissões		
	Custo energético		

<sup>24</sup> Em termos de produção, a capacidade é uma medida de quantidade produzida por unidade de tempo. Representa-se por unidades de produto, podendo ser transformada em horas de capacidade, normalmente homens-máquina ou horas-homem por período.

Após o preenchimento da tabela acima apresentada, surgem por um lado os indicadores mais relevantes a recolher de uma máquina associados a determinada área de Gestão. Por outro, também se reconhece qual a área de Gestão com maior interesse para uma estratégia de *Retrofitting*.

Os indicadores não podem ser apenas enumerados de uma forma abstrata, têm também de ser quantificados e definidos de uma forma clara. A Tabela 21 representa um modelo genérico a seguir onde é descrito o conteúdo e condição de cada KPI:

Tabela 21- Tabela de descrição do KPI #

<b>Descrição do KPI #</b>	
<b>Conteúdo</b>	
<b>Nome</b>	O nome do KPI
<b>ID</b>	A identificação usada no ambiente de trabalho
<b>Descrição</b>	Breve descrição do KPI
<b>Fórmula</b>	Fórmula matemática
<b>Unidade de medida</b>	Grandeza física
<b>Limites</b>	Limite inferior e superior
<b>Condição</b>	
<b>Periocidade</b>	Minuto, hora, semana, mês, entre outros
<b>Stakeholder</b>	Departamento, Seção, Área de Gestão
<b>Dependências e Relações</b>	Variáveis e parâmetros que são precisos calcular antes de aplicar a fórmula
<b>Notas adicionais</b>	Informação adicional sobre as constantes ou sobre o produto em si

- Produtividade

Com a crescente competitividade, torna-se necessário que as empresas procurem maximizar a sua produtividade, não só dos operários, mas também das suas máquinas.

A produtividade define-se como uma relação entre os recursos necessários para determinado processo (*input*) e o resultado desse mesmo processo (*output*). A Tabela 22 resume as suas características:

Tabela 22- Descrição do KPI 1

Descrição do KPI 1	
<b>Conteúdo</b>	
<b>Nome</b>	Produtividade
<b>ID</b>	P
<b>Descrição</b>	A produtividade da máquina resulta do quociente entre a quantidade total produzida a dividir pelo total de horas que a máquina esteve a produzir
<b>Fórmula</b>	$P = \frac{Q}{Hm}$
<b>Unidade de medida</b>	Kg/h
<b>Limites</b>	-
<b>Condição</b>	
<b>Periodicidade</b>	Semanalmente
<b>Stakeholder</b>	GP
<b>Dependências e Relações</b>	Q: Quantidade produzida (kg) Hm: Horas de produção da máquina(h)
<b>Notas adicionais</b>	É preciso ter atenção ao tipo de produto, por exemplo, para a malha, deve-se ter em atenção ao seu custo por kg

Num exemplo hipotético de uma confeção, uma forma de medir a produtividade pode ser dividir o número de peças produzidas pelo número de máquinas disponíveis no turno.

- Eficácia geral do equipamento

Através da OEE<sup>25</sup> consegue-se medir a eficiência das máquinas ou de um conjunto de máquinas. Para isso analisam-se três características: A disponibilidade, desempenho e qualidade.

---

<sup>25</sup> É um dos indicadores mais usados para medir a produtividade de um sistema. Representa a percentagem que este é verdadeiramente produtivo na tentativa de melhorar o processo de produção e eliminar o desperdício. Por exemplo, uma OEE de 100% traduz-se numa produção de peças boas, o mais rápido possível e sem paragens, ou seja, qualidade, desempenho e disponibilidade respetivamente (OEE.Com, n.d.).

- Disponibilidade: Refere-se à taxa de uso da máquina.
- Desempenho ou *performance*: Refere-se à capacidade que a máquina tem de produzir no tempo previsto.
- Qualidade: Refere-se à produção conforme dos produtos.

A Tabela 23, evidencia as suas características:

Tabela 23- Descrição do KPI 2

<b>Descrição do KPI 2</b>	
<b>Conteúdo</b>	
<b>Nome</b>	Eficácia geral do equipamento
<b>ID</b>	OEE
<b>Descrição</b>	Principal indicador para medir, analisar e avaliar o desempenho de uma máquina
<b>Fórmula</b>	$OEE = D \times P \times Q$
<b>Unidade de medida</b>	%
<b>Limites</b>	[0,100]
<b>Condição</b>	
<b>Periodicidade</b>	Semanalmente, mensalmente ou trimestralmente
<b>Stakeholder</b>	GP e GM
<b>Dependências e Relações</b>	Disponibilidade, Performance e Qualidade
<b>Notas adicionais</b>	Este KPI pode ser usado em qualquer tipo de máquina

Seguem-se os cálculos auxiliares para os três fatores presentes na equação da OEE, que podem ser calculados da seguinte forma:

$$D = \frac{Tf}{Tc} \times 100$$

Onde,

D: Disponibilidade da máquina;

Tf: Tempo de funcionamento da máquina;

Ta: Tempo de começo.

$$P = \frac{Tc \times Qtd}{Tf} \times 100$$

Onde,

P: Performance da máquina;

Tc: Tempo de ciclo ideal;

Qt: Quantidade produzida;

Tf: Tempo de produção.

$$Q = \frac{Qc}{Qt} \times 100$$

Onde,

Q: Qualidade;

Qc: Quantidade de produtos conformes;

Qt: Quantidade total produzida.

Assim, quanto mais próximo o índice da OEE é de 100%, mais eficiente a máquina é (*OEE.Com*, n.d.).

- Tempo de inatividade não programado

O tempo de inatividade não programado (EN: *Unscheduled Downtime*) (da máquina) é um KPI que é complexo para empresas com elevado número de ativos. A medição deste KPI pode ajudar a GM a analisar o sucesso com que implementam as suas práticas. Este indicador também interfere nos custos da empresa.

A Tabela 24 descreve as suas características:

Tabela 24- Descrição do KPI 3

<b>Descrição do KPI 3</b>	
<b>Conteúdo</b>	
<b>Nome</b>	<i>Unscheduled Downtime</i>
<b>ID</b>	Tinp
<b>Descrição</b>	Tempo de inatividade não programado
<b>Fórmula</b>	$T_{inp} = \frac{T_i}{T_t}$
<b>Unidade de medida</b>	min
<b>Limites</b>	-
<b>Condição</b>	
<b>Periodicidade</b>	-
<b>Stakeholder</b>	GM
<b>Dependências e Relações</b>	Ti: tempo de inatividade não programado (min) Tt: período total medido (min)
<b>Notas adicionais</b>	Refere-se à máquina

Por exemplo, num tear, é frequentemente a paragem resultante de gargalos de estrangulamento, e por isso é importante medir este KPI.

- Custo por máquina

Dentro de qualquer empresa, tem-se como objetivo diminuir o custo de produção. Para isso, é necessário comparar um indicador de despesas reais como o custo por máquina (por mês).

A Tabela 25 menciona as suas características:

Tabela 25- Descrição do KPI 4

<b>Descrição do KPI 4</b>	
<b>Conteúdo</b>	
<b>Nome</b>	Custo por máquina
<b>ID</b>	Cm
<b>Descrição</b>	Custo por máquina por mês, é um indicador de despesas reais
<b>Fórmula</b>	$Cm = \frac{Co}{Nm}$
<b>Unidade de medida</b>	€/mês
<b>Limites</b>	-
<b>Condição</b>	
<b>Timing</b>	Mensalmente
<b>Stakeholder</b>	GP e GC
<b>Dependências e Relações</b>	Co: Custo operacional mensal total (€) Nm: Número de máquinas em operação
<b>Notas adicionais</b>	-

- Consumo energético

Na Gestão das Organizações, quando é efetuado o cálculo de indicadores, é necessário registar os consumos. O consumo energético é um indicador de desempenho que se refere a qualquer tipo de energia (pode ser eletricidade, óleo, gás, entre outros). Energia esta necessária para produzir uma unidade específica ou volume de produção.

A Tabela 26 resume as suas características:

Tabela 26- Descrição do KPI 5

Descrição do KPI 5	
<b>Conteúdo</b>	
<b>Nome</b>	<i>Consumo energético</i>
<b>ID</b>	CE
<b>Descrição</b>	O consumo de energia é a proporção de energia consumida por ciclo de produção em comparação com a unidade de produto
<b>Fórmula</b>	$CE = \frac{E}{Qp}$
<b>Unidade de medida</b>	kWh/unidade
<b>Limites</b>	Quanto menor melhor
<b>Condição</b>	
<b>Timing</b>	Sob ordem ou periodicamente
<b>Stakeholder</b>	GM e GS
<b>Dependências e Relações</b>	Semanalmente
<b>Notas adicionais</b>	Normalmente é calculado com referência a duas datas e os registos são colhidos em intervalos de tempo semelhantes <sup>26</sup> Regulamentos devem ser considerados no cálculo deste KPI

Este KPI em particular, ajuda os *stakeholders* na transição para um cenário de economia circular<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> Como é o caso dos contadores de eletricidade.

<sup>27</sup> A economia circular é definida como uma maneira que concilia o desenvolvimento económico com a sustentabilidade. Além disso, procura manter a máxima utilidade e o valor dos produtos, componentes e materiais em todos os momentos (Bressanelli et al., 2017).

### 3.4 Extração e visualização dos dados

Para que seja possível extrair e visualizar os dados das máquinas de acordo com as devidas importâncias atribuídas, é necessário a seleção de tecnologias chave que garantam, assegurem e melhorem o desempenho da máquina de acordo com os requisitos dos *stakeholder*.

#### 3.4.1 Identificação de novas tecnologias para extração dos dados

Neste ponto da estratégia selecionou-se a IoT como a tecnologia disruptiva da I4.0 a usar para extração dos dados das máquinas. De acordo com a literatura, estamos então perante a primeira camada de IoT (Camada de sensores e atuadores). Através de sensores simples de IoT consegue-se fazer o necessário fornecendo muitas informações importantes.

A identificação da nova tecnologia, neste caso, o sensor de IoT passa por:

- (i) Recolha da informação disponível em 3.2.3, e identificar quais as falhas mais recorrentes na máquina em estudo. De acordo com gráfico da Figura 36, prevê-se que o sistema elétrico seja mais preocupante, nomeadamente as sobrecargas que podem ser de temperatura, vibração e pressão.

Tabela 27- Sensores e dados a extrair

Tipo de Propriedades	Parâmetros a serem medidos	Sensores
<b>Físicas</b>	Temperatura	x
	Pressão	x
<b>Movimento</b>	Humidade	
	Posição	
	Fluxo	
	Velocidade	
	Velocidade angular	
	Aceleração	
<b>Contato</b>	Força	
	Torque	
	Vibração	x
	Tensão	
<b>Presença</b>	Proximidade	
	Contato	
	Distância	
	Movimento	

As cruzes (x), na tabela acima apresentada, referem-se aos tipos de sensor a adquirir posteriormente.

(ii) Para a escolha do sensor a aplicar na máquina, por exemplo um sensor de vibração piezoelétrico (aceleração, velocidade ou deslocamento), devem ser considerados muitos fatores de acordo com a respetiva aplicação. Deve ser questionado:

- Qual é o nível de vibração?
- Qual é a faixa de frequência desejada?
- Qual é a faixa de temperatura necessária para determinado produto?
- Existem produtos químicos corrosivos a introduzir na máquina?
- Estão presentes campos acústicos ou eletromagnéticos intensos?
- Existe uma descarga eletroestática entre a máquina e o sensor?
- Existem restrições de tamanho e peso do sensor?

As perguntas são idênticas para outros tipos de sensores a aplicar nas máquinas.

A empresa SKF desenvolveu uma grande gama de sensores industriais que permitem a monitorização da máquina, disponíveis no website: "<https://www.skf.com/uk/products/condition-monitoring-systems/sensors>". A OMRON também apresenta vários sensores específicos para projetos de IoT disponíveis no website: <https://components.omron.com/product-category?nodeId=40&nodeParentId=40#IoT-Sensors>.

(iii) Requisitos

De acordo com a literatura, definiu-se que para a solução de IoT selecionada, o sensor de IoT deve cumprir certos requisitos como os identificados na Figura 37:

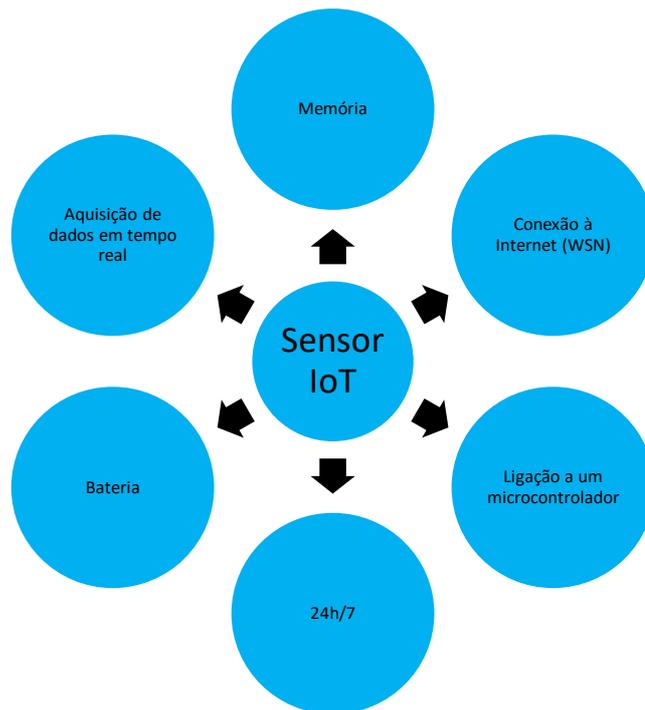


Figura 37- Requisitos sensores industriais definidos para uma solução de IoT

- Memória: refere-se à RAM que vai armazenar os dados importantes.
- Conexão à Internet: pode ser via USB, Wifi, *Ethernet*, 5G.
- Ligação a um microcontrolador: capacidade para o sensor se conectar a um microcontrolador, *Raspberry Pi* ou *Arduino*.
- 24h/7: pronto para uso 24h para 7 dias.
- Bateria: os dispositivos sensores devem ser alimentados por uma bateria personalizados ou prontos a medir as principais medidas de desempenho e condições operacionais da máquina.
- Dados em tempo real: refere-se às informações recolhidas da máquina através dos sensores que são imediatamente entregues para análise posterior ou visualização permitindo uma melhor tomada de decisão.

### 3.4.2 Dashboards e plataformas para visualização e gestão de dados

Após a extração dos dados da máquina, estamos agora perante a terceira camada de IoT (Camada de Gestão dos dados) necessária para a sua visualização e gestão.

Recorreu-se à seleção e uso de plataformas apropriadas, de IoT para serem compatíveis com os sensores acima selecionados.

- (i) Com base nas plataformas de IoT descritas na literatura, procedeu-se à avaliação individual numa matriz decisão, do inglês *Pugh Matrix*, para cada área de Gestão a usar na estratégia, apresentada na Tabela 28:

Tabela 28- Exemplo de uma Pugh Matrix de plataformas de IoT e áreas de gestão

<b>PUGH MATRIX</b>			
<b>Alternativas de Plataformas</b>			
<b>Áreas de Gestão</b>	<b>Thingsboard</b>	<b>AWS IoT</b>	<b>Microsoft Azure</b>
<b>GP</b>	+	+	0
<b>GC</b>	0	0	+
<b>GQ</b>	-	-	+
<b>GM</b>	+	+	-
<b>GS</b>	+	-	-
<b>+</b>	3	3	2
<b>-</b>	1	2	2
<b>0</b>	1	1	0
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Ranking</b>	<b>1<sup>º</sup></b>	<b>2<sup>º</sup></b>	<b>3<sup>º</sup></b>

Utilizou-se a seguinte simbologia:

(+) vantagem ao conceito de referência.

(-) desvantagem ao conceito de referência.

(0) equivalente ao conceito de referência.

De notar, que para esta solução de IoT, a *Thingsboard* acaba por evidenciar ser uma boa opção para uma estratégia de *Retrofitting*.

- (ii) Com base na literatura, a estratégia recorreu-se ao uso dos *Manufacturing Dashboards*, onde toda a informação quer da máquina quer da produção se encontra condensada. Atribuíram-se três tipos: *Operational*, *Tactical* e *Strategy*.

- Informação definida em 3.2.1 Parâmetros de *setup* da máquina, e definida em 3.2.2 Parâmetros de controlo do processo, é agrupada para ser demonstrada no *Operational dashboard*. Este vai ser de maior interesse para o Operador da máquina,

pois é apresentado o estado da máquina e do processo associado ao *shop floor*. KPIs da GM também poderão estar inseridos.

- Os KPIs da GP e GQ, definidos na Tabela 20, com nível 4 atribuem-se ao *Tactical dashboard*. Interessa à Gestão e Engenheiros da Produção os detalhes de utilização da máquina, como a eficiência da linha de produção e a OEE.
- Os KPIs da GC, GM e GS, definidos na Tabela 20, com nível 4 apropriam-se para o *Strategy dashboard*. A Sustentabilidade está incluída visto que faz parte de uma estratégia com vantagem competitiva.

A Tabela 29 ilustra os 3 pontos acima supracitados:

*Tabela 29- Exemplo de comparação de tipos dashboards de acordo com a área de Gestão*

Área Gestão/Dashboard	Operational	Tactical	Strategy
<b>GP</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	
<b>GQ</b>		<b>x</b>	
<b>GC</b>			<b>x</b>
<b>GM</b>	<b>x</b>		<b>x</b>
<b>GS</b>			<b>x</b>

O *Strategy dashboard* acaba por ser o mais escolhido de entre as outras opções referidas.

Concluiu-se que diferentes KPIs, estão associados a diferentes áreas de gestão que por sua vez requerem diferentes tipos de *dashboards* para visualização de informação da máquina. Futuramente deverão ser desenhados e implementados de acordo com a literatura.

### **3.5 Integração na máquina das novas tecnologias**

Uma integração eficiente na máquina, está para além da integração das novas tecnologias, automação e computação e plataformas inteligentes, ou ainda de uma gestão e produção equilibradas. Significa antes o uso dessas tecnologias para reforçar a intervenção humana para atingir outros níveis antes não conseguidos.

#### **3.5.1 Ligação à máquina**

Para implementar a nova solução conceitual, certas condições devem ser satisfeitas. Uma vez verificados os requisitos dos sensores de IoT, o conceito da estratégia de *Retrofitting* pode ser avançado.

Para que esta ligação e comunicação à máquina seja bem feita, definiu-se um Kit de Retrofitting composto por:

- Componentes *hardware*, como por exemplo:
  - Sensores IoT (ver exemplo Figura 38).
  - *Raspberry Pi* ou *Arduino*.

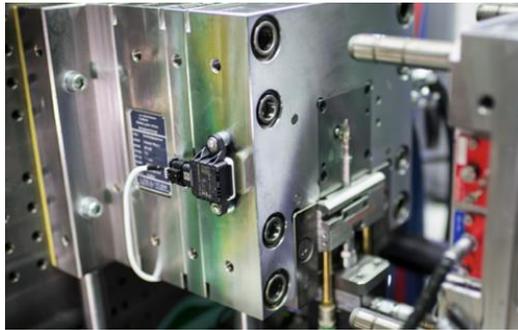


Figura 38- Exemplo de um dispositivo de sensor de retrofit (Bosch, n.d.)

- Cabos *Ethernet*.
- Equipamento para visualização: *Tablets*, *smarthphones*, ecrãs, entre outros.
- Automatismo: Sistemas PLC e sistema de supervisão e controlo de dados (EN: *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA)) que devem operar num ambiente local de circuito fechado para uma deteção e controlo de minuto a minuto.
- Componentes *software* para permitir a ligação dos dispositivos físicos
  - Plataformas de IoT.

Com este Kit torna-se possível:

- Coletar dados de sensores.
- Enviar ou receber telemetria através de protocolos de comunicação IoT.
- Obter e enviar dados para outros sistemas.
- Criação de regras específicas para cada dispositivo.
- Conetar vários sensores e atuadores ao computador.
- Controlo remoto.

Na Figura 39, está representado um exemplo de um esquema cenário para medição da temperatura de uma máquina através do Kit selecionado:

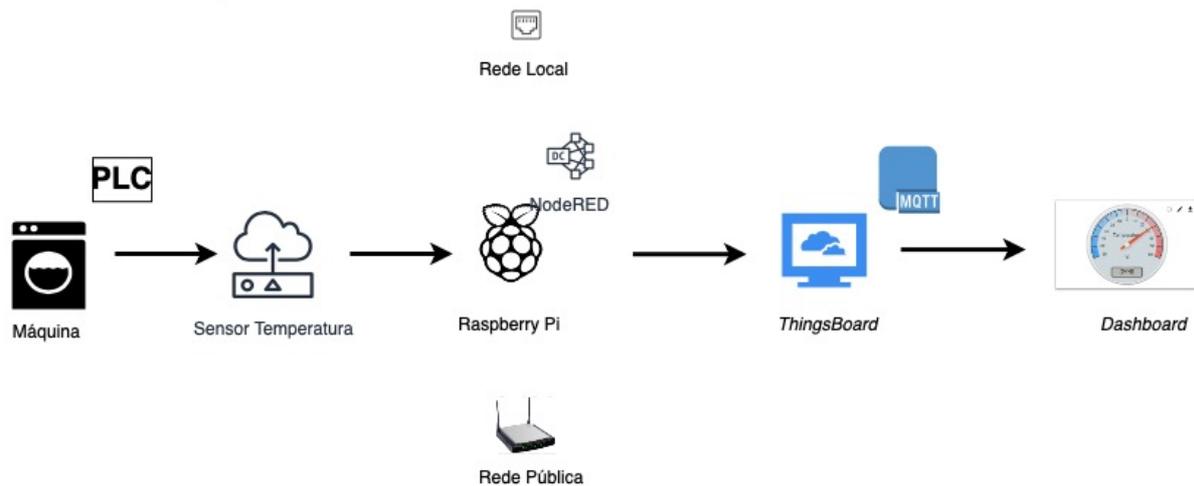


Figura 39- Esquema cenário para medição da temperatura de uma máquina

### 3.5.2 Novas funcionalidades de monitorização e controlo

Todas as máquinas têm como prioridade evitar o aparecimento de falhas para satisfazer as ordens de produção. Por exemplo, uma máquina que deteriora com o tempo, precisa de ser monitorada para garantir segurança, confiança e disponibilidade para que possa continuar a produzir os bens do sistema de produção.

A Figura 40 ilustra o diagrama sequencial para o cenário de monitorização necessário para garantir o desempenho operacional da máquina no seu pico em todos os momentos para detetar falhas confiáveis no início das condições operacionais e reduzir alarmes falsos.

Este sistema de monitorização refere-se à configuração de alarmes e uso de sensores. Parâmetros operacionais como vibração, pressão, temperatura, são transferidos para os sensores e depois são convertidos em informações de alarme e sinais de vibração. Estes sinais são processados de forma a reduzir os dados e os alarmes. Posteriormente podem ser enviados para o sistema de controle distribuído (DCS) ou para o SCADA para exibição dos mesmos. No centro de controlo os dados são analisados e interpretados de modo a diagnosticar a falha, o tipo, localização e além disso, estimar as condições dos outros componentes da máquina.

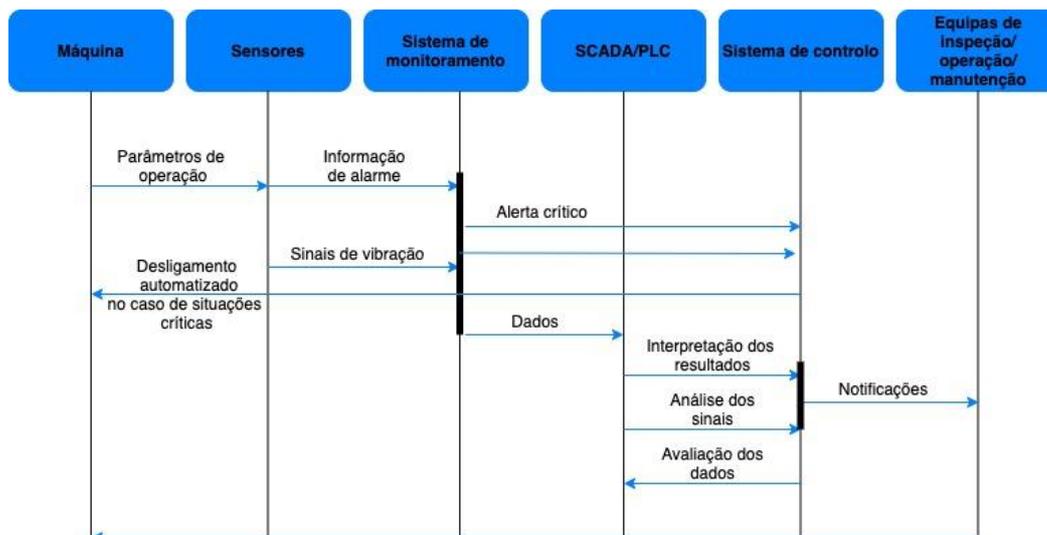


Figura 40- Diagrama sequencial de um cenário possível de monitoramento da máquina

Todas estas informações podem contribuir para uma mudança no cronograma operacional da área da GM.

### 3.6 Comparação do desempenho da máquina inicial e retrofitada

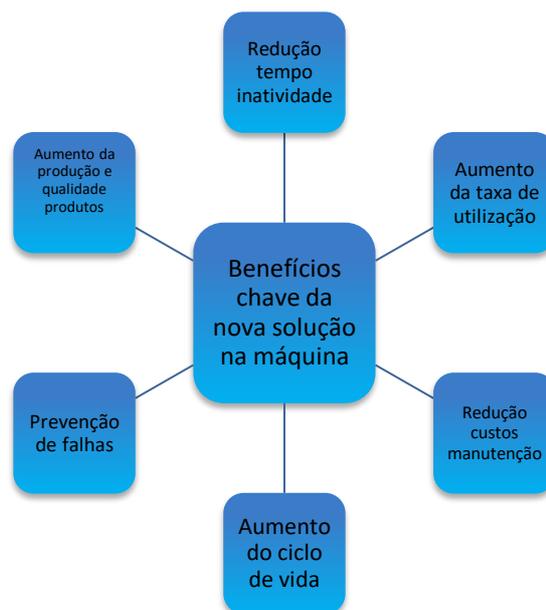
Após a integração de novas tecnologias na máquina, são previstas algumas diferenças e novas funcionalidades. A Tabela 30 é uma replicação da Tabela 15, que deverá ser preenchida de acordo com as novas funcionalidades da máquina retrofitada:

Tabela 30- Checklist da máquina retrofitada

Checklist	Máquina retrofitada
Bom estado de conservação?	
Conexão à Internet?	
Sensores embutidos?	
Regista os dados de energia?	
Tecnologia PnP?	
Controlo por PLC?	
Controlo por CNC?	
Configuração manual?	
Sistema de paragem automático?	
Sistema de lubrificação automático?	
Sistema de limpeza automático?	
Monitoramento remoto?	

Com estas novas funcionalidades, surgem certos benefícios que podem ser avaliados com base no cálculo dos KPIs definidos anteriormente:

- KPI Produtividade  
Um aumento da produtividade conduz a uma redução do LT.
- KPI OEE  
Uma melhoria na OEE leva a uma redução de perdas maiores.
- KPI tempo de inatividade não programado  
Pode ocorrer uma redução no tempo de inatividade não programado com base na manutenção preditiva fornecida pelo uso de plataformas.
- KPI consumo energético  
Uma redução no consumo energético, leva a uma redução de custos e aumento da rentabilidade da máquina.



*Figura 41- Benefícios chave da nova solução apresentada*

Para além dos benefícios expostos na Figura 41, salienta-se o desenvolvimento e transformação da cultura de uma organização para ter a máxima eficiência. Torna-se possível envolvimento de todos os funcionários desde alta administração até aos operadores.

O preço de uma nova solução analisada também é considerado um benefício. Uma estratégia de *Retrofitting* pode ser uma maneira económica de fazer uma transformação digital num parque de

máquinas. Enquanto que um parque de máquinas totalmente novo pode custar vários milhões de euros, a aplicação de sensores de *Retrofitting* e IoT podem custar apenas centenas de euros.

De acordo com a literatura, justificar o investimento no *Retrofitting* pode ser semelhante a qualquer outro tipo de investimento. Através da contabilização de todos os custos e benefícios financeiros, pode-se calcular o ROI de acordo com a literatura. Assim, feita esta análise, a empresa poderá concluir se interessa investir, não investir ou adiar uma estratégia de *Retrofitting*. Prevê-se que seja possível avaliar esses custos através da evolução de KPIs exibidos em dashboards.

## 4 AVALIAÇÃO DAS PRIORIDADES PARA *RETROFITTING* DAS MÁQUINAS SELECIONADAS

Ao longo deste capítulo explorou-se a metodologia de validação utilizada, assim como a validação das soluções apresentadas no capítulo anterior.

A validação procedeu-se no CITEVE. Este centro tecnológico proporciona às empresas da ITV, especialmente às PME (90%), um portfólio de serviços. Para além destes serviços às empresas, é uma organização de apoio à promoção de conhecimento e informação para o setor, que também faz a ponte entre as universidades e empresas.

Face aos desafios da ITV, são as tecnologias e os sistemas digitais que fazem parte da Indústria 4.0 e permitem fazer a união entre as empresas e a tecnologia.

Neste sentido, o CITEVE integra um conjunto de iniciativas de investigação e desenvolvimento integradas num ambiente digital estando integrado num ecossistema de inovação (*CITEVE*, n.d.).

### 4.1 Metodologia de avaliação

A metodologia de avaliação desenvolvida para este estudo envolveu a realização de entrevistas individuais com os responsáveis do CITEVE com o objetivo de obter e analisar informações sobre os processos e equipamentos têxteis do setor relevantes para a aplicação da estratégia.

#### 4.1.1 Entrevistas

Antes das entrevistas, selecionaram-se os equipamentos industriais que constituem o *core* do processo têxtil, em conjunto com o Engenheiro responsável pela área da I4.0 no CITEVE. Na Tabela 31 são apresentados os equipamentos escolhidos e os processos de transformação tecnológicos associados, desde a produção do fio até à sua utilização final.

*Tabela 31- Processos e equipamentos têxteis escolhidos*

<b>Processo</b>	<b>Equipamento escolhido</b>
Fiação e Tecelagem	Tear
Estampagem Convencional	Máquina de Estampar Convencional
Tingimento por Jets	Jet
Ramulagem	Râmula

Após determinado quais os equipamentos têxteis do sistema a aplicar a estratégia, realizaram-se reuniões com os peritos do CITEVE responsáveis pelos diferentes tipos de equipamentos. As reuniões tiveram uma duração de 60 minutos com o objetivo de sistematizar conhecimento sobre maquinaria têxtil e processos de transformação tecnológicos associados.

O levantamento de questões incidiu:

*Tabela 32- Sistematização das questões realizadas aos responsáveis por cada tipo de equipamento*

<b>Nome do Equipamento escolhido</b>	
<b>Nº</b>	<b>Questão</b>
1	Quais as características mais importantes que o operador define na configuração (ou <i>setup</i> ) do equipamento?
2	Quais os problemas mais comuns que atingem o equipamento?
3	Quais os problemas e motivos mais comuns da qualidade do produto?
4	Análise de informação relevante por área de gestão: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestão da Produção</li> <li>• Gestão da Qualidade</li> <li>• Gestão Comercial</li> <li>• Gestão da Manutenção</li> <li>• Gestão da Sustentabilidade</li> </ul>

#### **4.1.2 Correspondência entre parâmetros a controlar e áreas de Gestão**

Durante esta etapa recolheu-se e assimilou-se a informação resultante das questões na etapa anterior e resumiu-se essa informação numa matriz.

As matrizes representam um ponto de referência importante para análise do estado e análise de inúmeras variáveis, transmitindo a informação relevante, por serem mais acessíveis e captarem facilmente a atenção dos responsáveis.

Seguem-se as matrizes resultantes das entrevistas com os responsáveis de acordo com o tipo de equipamento:

- Tear

Tabela 33- Matriz resumo Tear

Parâmetro ou indicador a controlar	Unidades	GP	GQ	GC	GM	GS
Velocidade de inserção	RPM					
Tempo produção	h					
Nº de paragens <sup>28</sup> / Tempos de paragem	inteiro					
Consumo de energia	kWh					
Tecido produzido	m					
Rendimento da máquina <sup>29</sup>	%					
Custo por hora de tecido	€/kg					

- Máquina de Estampar Convencional

Tabela 34- Matriz resumo máquina de Estampar Convencional

Parâmetro ou indicador a controlar	Unidades	GP	GQ	GC	GM	GS
Velocidade estampagem (estampagem a metro)	m/min					
Velocidade estampagem (peça a peça)	Nº Peças/hora ou por dia					
Velocidade de cada rolo individual (estampagem a metro)	m/min					
Tempo do processo/prensagem <sup>30</sup>	s/min					
Nº de paragens	inteiro					
Resolução do desenho	dpi					
Precisão do desenho	mm					
Controlo da cor (cor correta, uniformidade no tecido)	sim/não					
Consumo de pasta /papel <sup>31</sup>	m/ papel					
Consumo energia	kWh					
Nº paragens/avarias	inteiro					
Temperatura interior estufa	°C					
Pressão das raclas	bar					
Pressão da vareta	bar					

<sup>28</sup> Serve para determinarmos a eficiência/rendimento do processo.

<sup>29</sup> Tempo de trabalho gasto / tempo total mais entrar com o fator da quebra do debuxo (caraterísticas técnicas).

<sup>30</sup> A prensagem é usada para processos de estampagem por *transfer* (sublimação ou termocolagem e implica pressão, temperatura e tempo). Normalmente a unidade usada é segundos.

<sup>31</sup> Esta situação só pode dizer respeito a transferes peça a peça pois a metro seria (m de papel).

- Jet

Tabela 35- Matriz resumo Jet

Parâmetro ou indicador a controlar	Unidades	GP	GQ	GC	GM	GS
Relação banho	kgs: litros					
Temperatura tingimento (Perfil de temperatura)	°C					
Quantidade produzida	kg					
Quantidade desperdício	kg					
Humidade ambiente	% RH					
Consumo energético	kWh					
Horas de trabalho	h					
Desperdício de banho	litros					
Tempo previsto produção	horas					
Nº Paragens não planeadas	inteiro					

- Râmula

Tabela 36- Matriz resumo Râmula

Parâmetro ou indicador a controlar	Unidades	GP	GQ	GC	GM	GS
Velocidade máquina	m/min					
Pressão rolos	bar					
Velocidade de exaustão	m/s					
Verificação de ar comprimido	litro/min					
Temperatura do tecido/malha	°C					
Humidade do ar	% RH					
Humidade do artigo	% RH					
Largura e gramagem	g/m <sup>2</sup>					
Tempo produção	h					
Controlo banho mínimo	litros					
Consumo de energia	kWh					
Consumo Produtos	gr					
Tempo produção	h					
Custo da operação	€					
Efluentes gasosos	mg/Nm					

Ainda resultante das reuniões, tornou-se possível construir a FTA para cada equipamento escolhido (APÊNDICE I – FTA Equipamentos ITV) para identificar quais as falhas e problemas mais comuns.

### 4.1.3 Matriz e atribuição do grau de importância

As Matrizes de cada tipo de equipamento foram validadas com os respetivos responsáveis. em 2 fases:

Tabela 37- Validação Matrizes

Fase	Descrição	Método
1	Confirmar os dados/parâmetros a extrair da máquina de acordo com área de Gestão (Produção, Qualidade, Comercial, Manutenção e Sustentabilidade)	Atribuição de um X
2	Atribuir grau de importância/prioridade dos parâmetros a medir no equipamento	1-Pouco interesse 2-Interesse 3-Muito interesse 4-Obrigatório

- Tear

Tabela 38- Matriz resumo Tear

Parâmetro a controlar	Unidades	GP	GQ	GC	GM	GS	Grau
Velocidade de inserção	RPM	4					4
Tempo produção	h	4					4
Nº de paragens	inteiro	4	3				3,5
Consumo de energia	kWh					2	2
Tecido produzido	m	4					4
Rendimento da máquina	%				2		2
Custo por hora de tecido	€/kg			4			4
<b>Percentagem relativa ao total de parâmetros por área</b>	<b>%</b>	<b>50</b>	<b>12,5</b>	<b>12,5</b>	<b>12,5</b>	<b>12,5</b>	

- Máquina de Estampar Convencional

Tabela 39- Matriz resumo máquina de Estampar Convencional

Parâmetros a controlar	Unidades	GP	GQ	GC	GM	GS	Grau
Velocidade estampagem (estampagem a metro)	m/min	x		x			
Velocidade estampagem (peça a peça)	Nº Peças/hora ou por dia	x					
Velocidade de cada rolo individual (estampagem a metro)	m/min	x		x			
Tempo do processo/prensagem	s/min	x		x			
Nº de paragens	inteiro	x					
Resolução do desenho	dpi	x	x				
Precisão do desenho	mm						
Controlo da cor (cor correta, uniformidade no tecido)	sim/não		x				
Consumo de pasta /papel	m/ papel			x		x	
Consumo energia	kWh			x		x	
Nº paragens/avarias	inteiro				x		
Temperatura interior estufa	°C	x					
Pressão das raclas	bar		x				
Pressão da vareta	bar		x				
<b>Percentagem relativa ao total de parâmetros por área</b>	<b>%</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	

- Jet

Tabela 40- Matriz resumo Jet

Parâmetro a controlar	Unidades	GP	GQ	GC	GM	GS	Grau
Relação banho	kgs: litros	4				4	4
Temperatura tingimento (Perfil de temperatura)	°C	4				4	4
Quantidade produzida	kg	4					4
Quantidade desperdício	kg	3	4	4		4	3,75
Humidade ambiente	% RH	2					2
Consumo energético	kWh					4	4
Nº horas de trabalho	h	4			4		4
Desperdício de banho	litros	4				4	4
Tempo previsto produção	horas	3		4			3,5
Nº Paragens não planeadas	inteiro	4	3	4	4		3,75
<b>Percentagem relativa ao total de parâmetros por área</b>	<b>%</b>	<b>42,9</b>	<b>9,5</b>	<b>14,3</b>	<b>9,5</b>	<b>23,8</b>	

- Râmula

Tabela 41- Matriz resumo Râmula

Parâmetro a controlar	Unidades	GP	GQ	GC	GM	GS	Grau
Velocidade máquina	m/min	4		3			3,5
Pressão rolos	bar	4	3				3,5
Velocidade de exaustão	m/s	4	3				3,5
Verificação de ar comprimido	litro/min				4	4	4
Temperatura do tecido/malha	°C	4	4				4
Humidade do ar	% RH	4	4				4
Humidade do artigo	% RH	4	4				4
Largura e gramagem	g/m <sup>2</sup>	4	4				4
Tempo produção	h	3		4	4		3,67
Controlo banho mínimo	litros	4	4			4	4
Consumo de energia	kWh					4	4
Consumo Produtos	g	3		4		4	3,67
Tempo produção	h	3			4	3	3,67
Custo da Operação	€	3		2		3	2,67
Efluentes gasosos	mg/Nm <sup>3</sup>					4	4
<b>Percentagem relativa ao total de parâmetros por área</b>	<b>%</b>	<b>36,4</b>	<b>21,2</b>	<b>12,1</b>	<b>9,1</b>	<b>21,2</b>	

## 4.2. Avaliação das matrizes

Depois do cálculo da percentagem relativa ao total de parâmetros por área de Gestão, obteve-se os seguintes resultados através da ferramenta Excel:

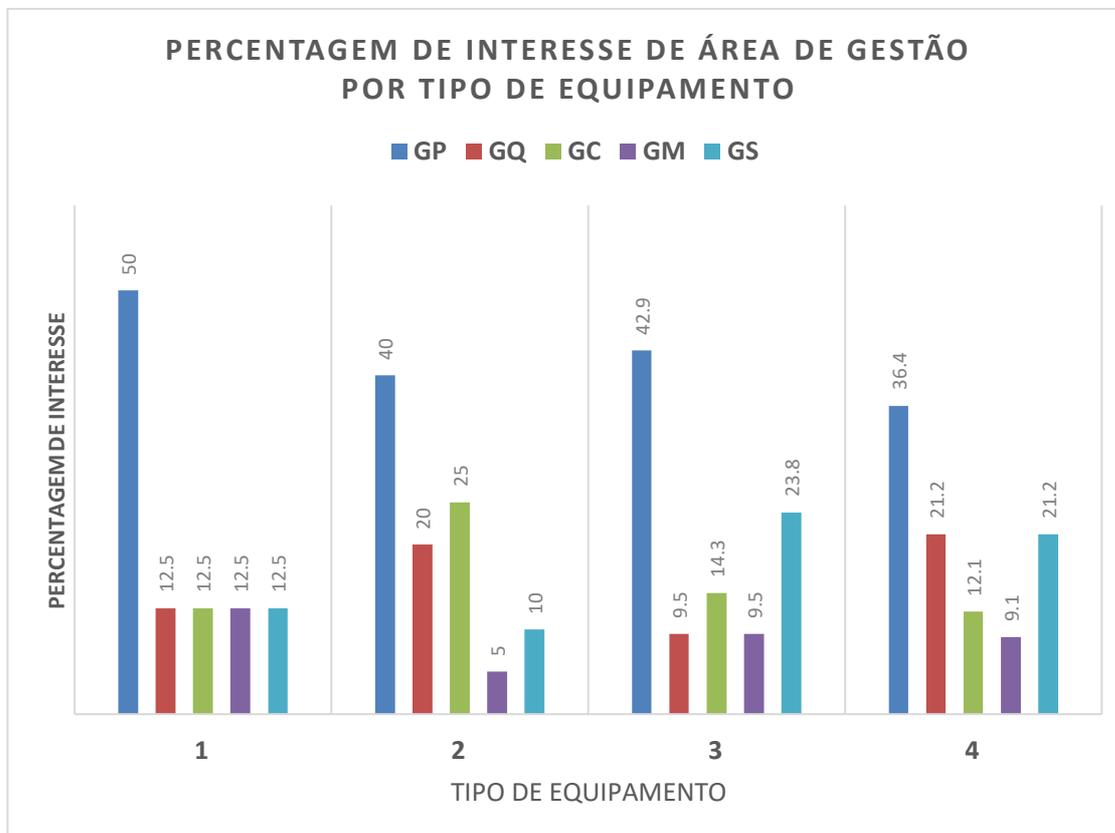


Figura 42-Percentagem de interesse de área de gestão por tipo de equipamento

De notar que no eixo horizontal do gráfico acima representado atribuiu-se os números 1,2,3 e 4 ao Tear, Máquina de Estampar Convencional, Jet e Râmula respetivamente.

Relativamente à última coluna de cada matriz em “4.1.3 Matriz e atribuição do grau de importância”, correspondente ao grau de importância dos parâmetros para serem medidos na máquina identificou-se os dados com maior grau de importância, identificados a vermelho nas seguintes figuras:



Figura 43- Grau de Interesse de KPIs no Tear

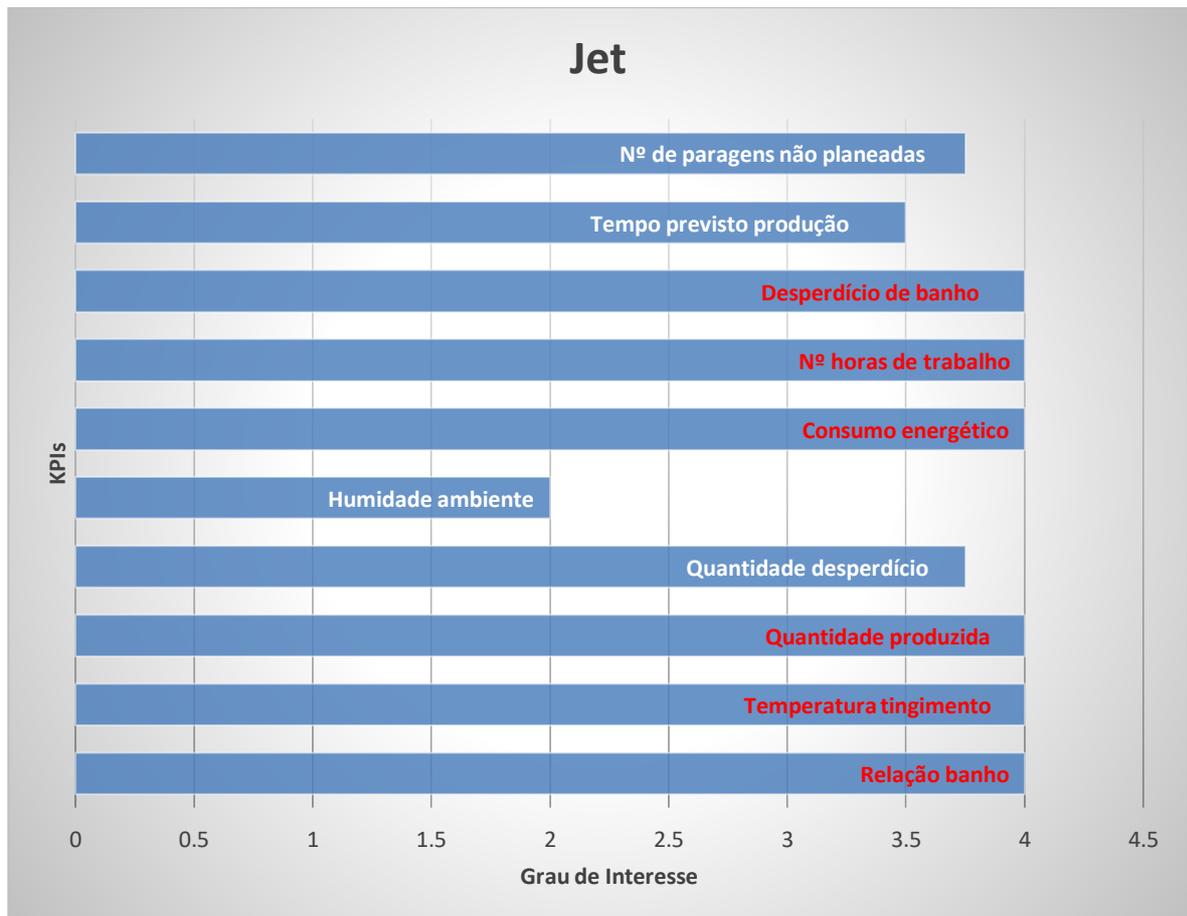


Figura 44- Grau de Interesse de KPIs no Jet

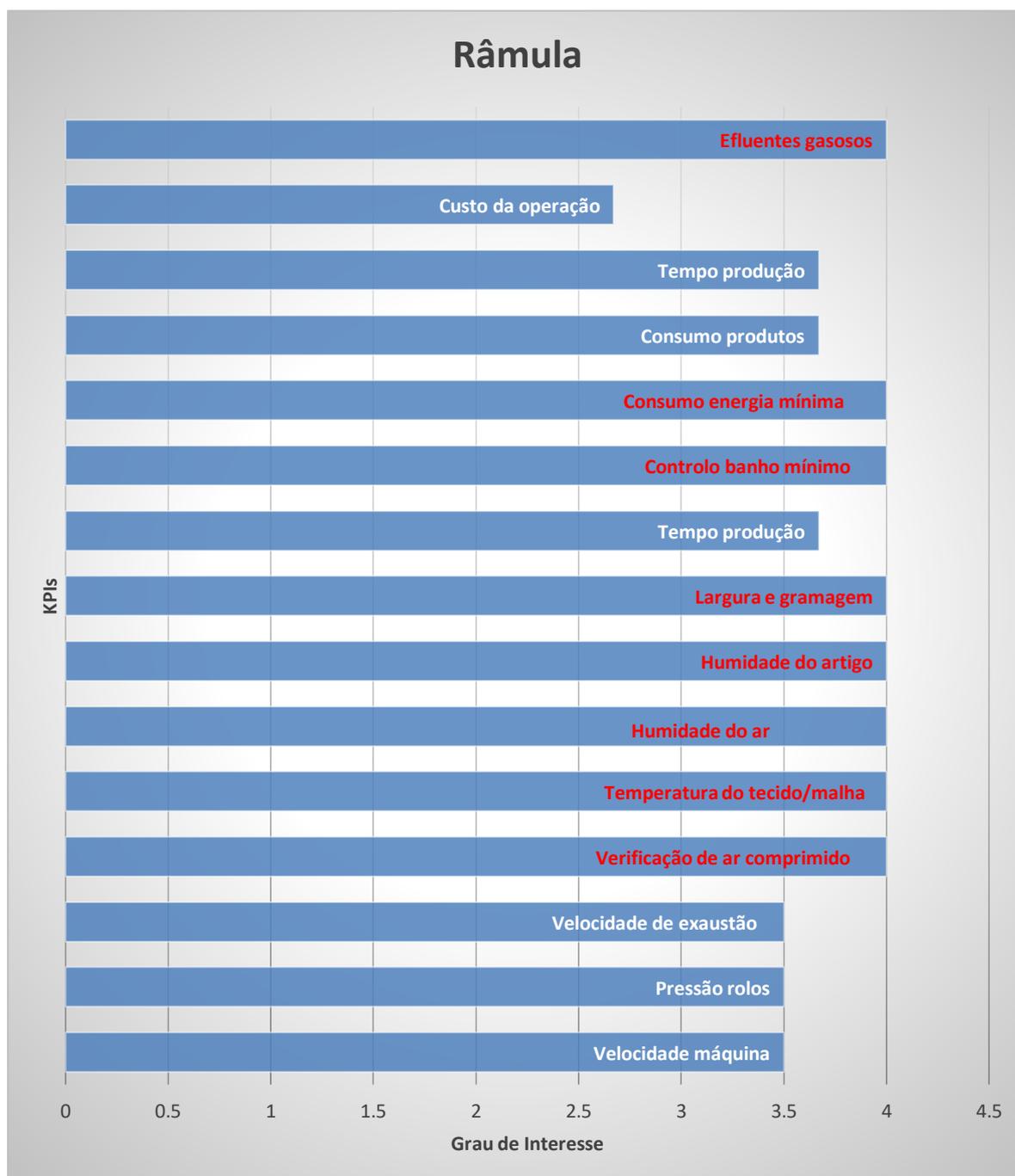


Figura 45- Grau de Interesse de KPIs na Râmula

Considerando o exemplo do Tear de uma empresa do setor Têxtil concluiu-se que a área da Gestão da Produção é a mais relevante. Por outro lado, considerou-se que a velocidade de inserção, tempo de produção, tecido produzido e custo por hora de tecido apresentam grau de importância/prioridade nível 4 na Figura 43, sendo que destes quatro indicadores, os primeiros três, estão relacionados com a área da GP. Assim, estes indicadores, serão a prioridade na oportunidade de aquisição se sensores pelos Gestores da Produção.

## 5. CONCLUSÕES

No final do projeto, conclui-se que para que uma estratégia de *Retrofitting* tenha êxito, não basta extrair e analisar uma grande quantidade de dados e informações das máquinas. O desafio passa por filtrar quais os dados que realmente importam de acordo com as diferentes áreas de Gestão da empresa.

A avaliação das matrizes no capítulo anterior, permitiu identificar que a área de Gestão da Produção acaba por ser a de maior interesse independentemente do tipo de máquina do setor têxtil escolhida. E, portanto, as PMEs deverão apostar nesta área.

Observou-se também que os KPIs são um excelente método de avaliação, monitorização e *benchmarking*. A comunicação entre as diversas áreas de gestão da empresa é facilitada através da quantificação e visualização desses KPIs em *dashboards* através de plataformas de IoT, que ajudam a identificar possíveis variações da produção e desempenho que ajuda a tomada de decisões e ações corretivas quando necessário.

Desenvolver o *Retrofitting* não é uma tarefa fácil pois mostra-se necessário um elemento técnico para fazer a ligação e implementação na máquina. Ao longo da dissertação abordou-se a ligação e implementação técnica na máquina através do uso de sensores de IoT de uma forma genérica. Sendo que já não abrange conhecimento técnico, e por isso o trabalho focou-se mais na função de Gestão propriamente dita.

Tem-se ainda que ao longo do desenvolvimento deste trabalho, não foram completadas tabelas com colunas relativos a sensores indicados para cada KPI. Fez-se um estudo de sensores apropriados para cada tipo de máquina do setor ITV mas não se chegou a validar, ficando assim para trabalho futuro. Propõe-se também a construção de um manual genérico com as ações bem definidas e delineadas por área de Gestão, para ajudar as empresas a dar este salto para a I4.0 no menor tempo requerido e ao menor custo possível.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arduino*. (2018). What Is Arduino. <https://www.arduino.cc>
- Assis, R. (2014). *Apoio à Decisão em manutenção na gestão de ativos físicos* (LIDEL (Ed.); 2ª Edição).
- Atlam, H. F., Walters, R. J., & Wills, G. B. (2018). Internet of Things: State-of-the-art, Challenges, Applications, and Open Issues. *International Journal of Intelligent Computing Research*, 9(3), 928–938. <https://doi.org/10.20533/ijicr.2042.4655.2018.0112>
- Berger, C., Hees, A., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2016). Characterization of Cyber-Physical Sensor Systems. *Procedia CIRP*, 41, 638–643. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.019>
- Bosch*. (n.d.). 3 Examples of How to Retrofit IoT Sensor Devices. <https://www.bosch-connectivity.com/newsroom/blog/3-examples-of-how-to-retrofit-iot-sensor-devices/>
- Bressanelli, G., Perona, M., & Sacconi, N. (2017). Reshaping the Washing Machine Industry through Circular Economy and Product-Service System Business Models. *Procedia CIRP*, 64, 43–44. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.065>
- Canavan, L. (2019). *RTI*. What Is IIoT? The Industrial Internet of Things Primer. <https://www.rti.com/blog/the-iiot-primer>
- CITEVE*. (n.d.). Retrieved January 2, 2020, from <https://www.citeve.pt>
- Comunidade Raspberry Pi Portugal*. (n.d.). Retrieved May 15, 2020, from <https://www.raspberrypiportugal.pt>
- Contreras Pérez, J. D., Cano Buitrón, R. E., & García Melo, J. I. (2018). Methodology for the Retrofitting of Manufacturing Resources for Migration of SME Towards Industry 4.0. *Communications in Computer and Information Science*, 942, 337–351. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01535-0\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01535-0_25)
- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 220–240. <https://doi.org/10.1108/01443570210417515>
- Decreto Lei n.º 103/2008 de 24 de Junho, Pub. L. No. Diário da República n.º 120/2008, Série I (2008). <https://dre.pt/legislacao-consolidada/-/lc/107674796/201910041606/73448329/diploma/indice>
- Douzis, K., Sotiriadis, S., Petrakis, E. G. M., & Amza, C. (2018). Modular and generic IoT management on the cloud. *Future Generation Computer Systems*, 78(October), 369–378. <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.05.041>
- EEP - Electrical Engineering Portal*. (n.d.). The Basis of PLCs (Programmable Logic Controllers). <https://electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/siemens-basics-of-energy/basics-of-plcs>
- Ehrlich, M., Wisniewski, L., & Jaspersnrite, J. (2015). Usage of Retrofitting for Migration of Industrial

- Production Lines to Industry 4.0. *Komma 2015 – Jahreskolloquium Kommunikation in Der Automation, November*, 1–10.
- Eletrogate*. (n.d.). Retrieved May 10, 2020, from <https://www.eletrogate.com/>
- Fernandes, M. D. (2018). *PwC*. Internet of Things New Digital Technologies. [www.pwc.pt/iot](http://www.pwc.pt/iot)
- Franke, F., Franke, S., & Riedel, R. (2020). Retrofit Concept for Textile Production. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 592 *IFIP*, 74–82. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5_9)
- GE Fanuc. (n.d.). *The Retrofit Advantage: Important Considerations when Retrofitting, Rebuilding or Remanufacturing machine Tools*. [https://www.galco.com/engsvc/retrofit\\_advantage.pdf](https://www.galco.com/engsvc/retrofit_advantage.pdf)
- General Electric*. (n.d.). Industrial Internet. Retrieved October 10, 2020, from <https://www.ge.com/europe/industrial-internet>
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0 - The Industrial Internet of Things* (Apress (Ed.)).
- González García, C., Meana Llorián, D., Pelayo G-Bustelo, C., & Cueva-Lovelle, J. M. (2017). A review about Smart Objects, Sensors, and Actuators. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(3). <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.431>
- Grams, C., & Cetnarowski, E. (2014). *RETROFIT EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS: estudo de caso*. Universidade Tecnológica Federal do Panamá.
- Gröger, C., Hillmann, M., Hahn, F., Mitschang, B., & Westkämper, E. (2013). The operational process dashboard for manufacturing. *Procedia CIRP*, 7, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.035>
- INE. (2020). *Retrofeed*. <https://retrofeed.eu>
- Junior, M. V., Correr, I., & Simon, A. (2019). *Application of cyber physical systems (CP) in manufacturing systems: a bibliometric study*. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- Kukkamäki, J., Costa, R., Heck Júnior, V., & Bitencourt, E. N. (2018). *IoT Centralization and Management Applying ThingsBoard Platform* (Issue August). [https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2019/03/Project-Report\\_bitencourt\\_anjos.pdf](https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2019/03/Project-Report_bitencourt_anjos.pdf)
- Lopes, J., Pimentel, B., Pinto, G., Soares, J., & Nunes, S. (2020). *Gestão da Produção e Operações* (E. EDITORA (Ed.)).
- López, D., Uribe, M. B., Cely, C. S., Murgueitio, D. T., Garcia, E. G., Nespoli, P., & Mármol, F. G. (2018). Developing secure IoT services: A security-oriented review of IoT platforms. *Symmetry*, 10(12), 1–34. <https://doi.org/10.3390/sym10120669>
- López, T., Ranasinghe, D. C., Patkai, B., & McFarlane, D. (2011). Taxonomy, technology and applications of smart objects. *Information Systems Frontiers*, 13(2), 281–300. <https://doi.org/10.1007/s10796-009-9218-4>

- Mais Retorno.* (n.d.). OPEX – Operational Expenditure.
- Matos, J. A. (2009). *Dicionário de Informática e Novas Tecnologias* (FCA (Ed.); 3ª Edição).
- Matt, D. T., Modrák, V., & Zsifkovits, H. (2020). *Industry 4.0 for SMEs: Challenges, Opportunities and Requirements* (D. T. Matt, V. Modrák, & H. Zsifkovits (Eds.)). Palgrave macmillan. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4_2)
- Microsoft Azure.* (n.d.). O Que é Middleware? Retrieved October 11, 2020, from <https://azure.microsoft.com/pt-pt/overview/what-is-middleware/>
- Moctezuma, L. E. G., Jokinen, J., Postelnicu, C., & Lastra, J. L. M. (2012). Retrofitting a factory automation system to address market needs and societal changes. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, July, 413–418. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2012.6301202>
- OEE.com.* (n.d.). What Is Overall Equipment Effectiveness? Retrieved December 12, 2020, from <https://www.oee.com>
- Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. G. (2016). Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5), 1–10. <https://doi.org/10.4010/2016.1482>
- Pintelon, L., & Parodi-herz, A. (2008). Complex System Maintenance Handbook. *Complex System Maintenance Handbook, January 2008*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-011-7>
- Plattform Industrie 4.0. (2015). Status Report - RAMI4.0. *ZVEI – German Electrical and Electronic Manufacturers*, July, 28. [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2016/januar/GMA\\_Status\\_Report\\_\\_Reference\\_Architecture\\_Model\\_Industrie\\_4.0\\_\\_RAMI\\_4.0\\_/GMA-Status-Report-RAMI-40-July-2015.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/januar/GMA_Status_Report__Reference_Architecture_Model_Industrie_4.0__RAMI_4.0_/GMA-Status-Report-RAMI-40-July-2015.pdf)
- Pradhan, D. (2015, December). *Online Clothing Study*. Key KPIs in Management Information System (MIS). [https://www.onlineclothingstudy.com/2015/12/key-kpis-in-management-information\\_15.html](https://www.onlineclothingstudy.com/2015/12/key-kpis-in-management-information_15.html)
- Samir, K., Khabbazi, M. R., Maffei, A., & Onori, M. A. (2018). Key Performance Indicators in Cyber-Physical Production Systems. In *Procedia CIRP* (Vol. 72). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.036>
- Santos, R. C. (2018). Proposta de modelo de avaliação de maturidade da Indústria 4.0. In *Instituto Superior de Engenharia de Coimbra*. <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/25346/1/Reginaldo-Carreiro-Santos.pdf>
- SGS.* (n.d.).
- Sheng, Z., Mahapatra, C., Zhu, C., & Leung, V. C. M. (2015). Recent advances in industrial wireless sensor networks toward efficient management in IoT. *IEEE Access*, 3(Oma Dm), 622–637. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2435000>

Silva, I., & Barbalho, S. (2019). *MODELOS DE MATURIDADE: DO CMM AOS MODELOS PARA INDÚSTRIA 4.0*. <https://doi.org/10.5151/2019-18>

Stephenson, W. D. (2020). *Industry Week*. Retrofitting Estratégico: Máquinas Mais Antigas Recebem Uma Atualização Da IIoT. [https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/21125857/strategic-retrofitting-older-machines-get-an-iiot-update?utm\\_source=IY+IW+Daily+Headlines+-+Morning&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=CPS200306046&o\\_eid=6364C3816012C0A&rxd.ident%5Bpull%5D=omed](https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/21125857/strategic-retrofitting-older-machines-get-an-iiot-update?utm_source=IY+IW+Daily+Headlines+-+Morning&utm_medium=email&utm_campaign=CPS200306046&o_eid=6364C3816012C0A&rxd.ident%5Bpull%5D=omed)

*Techopedia*. (n.d.).

*The Network Cisco's Technology News Site*. (2017). Cisco Survey Reveals Close to Three-Fourths of IoT Projects Are Failing. <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?articleId=1847422>

*Thingsboard*. (n.d.). Retrieved October 10, 2020, from <https://thingsboard.io>

Tokola, H., Gröger, C., Järvenpää, E., & Niemi, E. (2016). Designing Manufacturing Dashboards on the Basis of a Key Performance Indicator Survey. *Procedia CIRP*, 57, 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.107>

Vermesan, O., & Friess, P. (2014). Internet of things applications: From research and innovation to market deployment. *Internet of Things Applications: From Research and Innovation to Market Deployment*, 1–371.

# APÊNDICE I – FTA EQUIPAMENTOS ITV

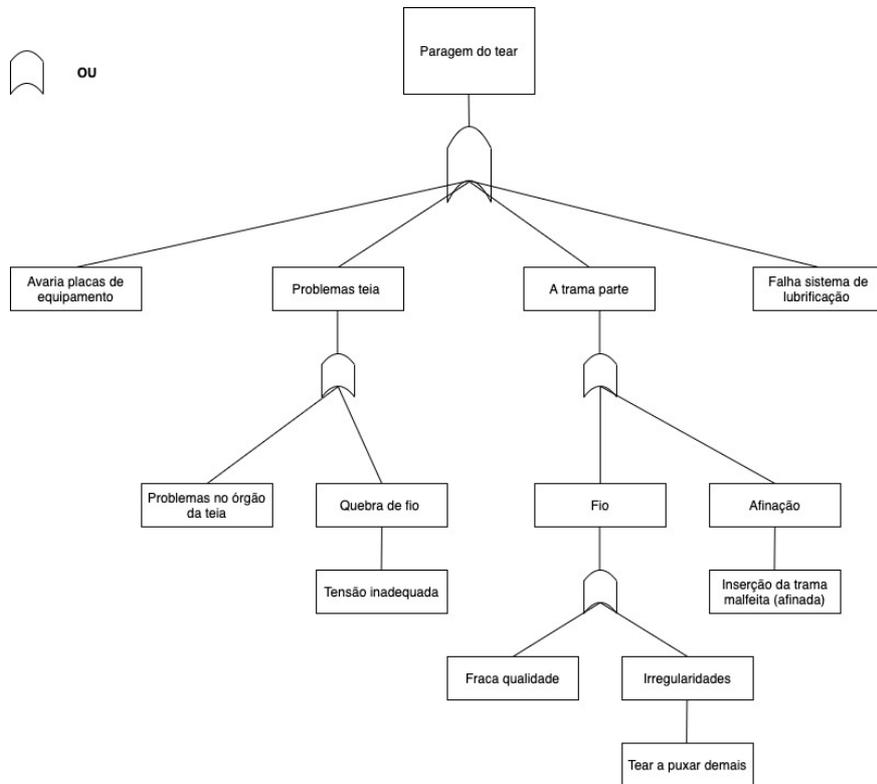


Figura 46- FTA Tear

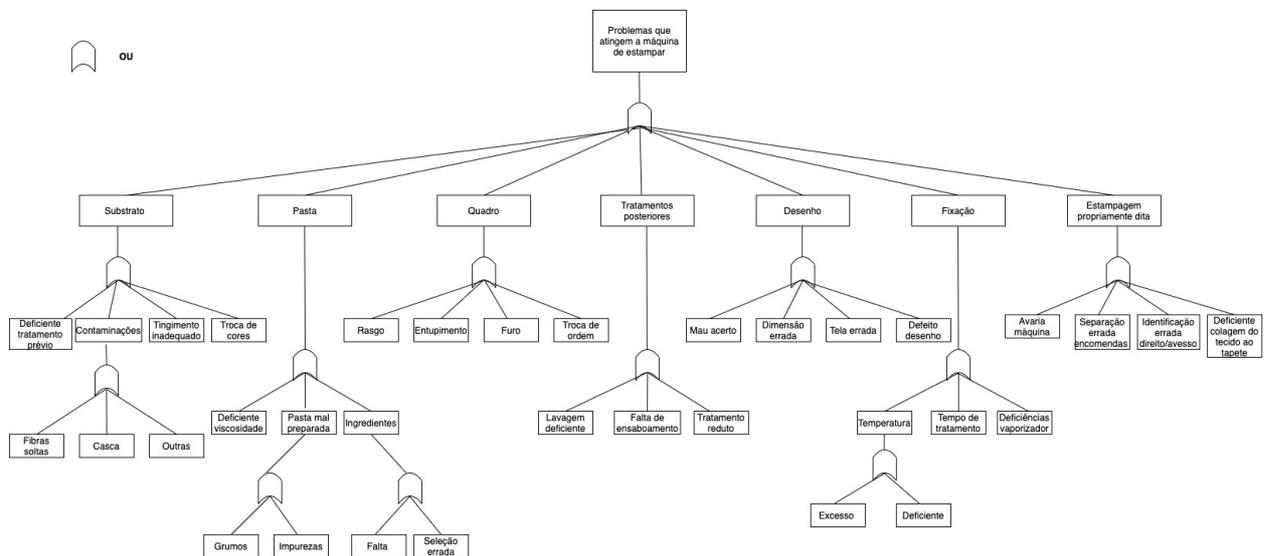


Figura 47- FTA Máquina de Estampar

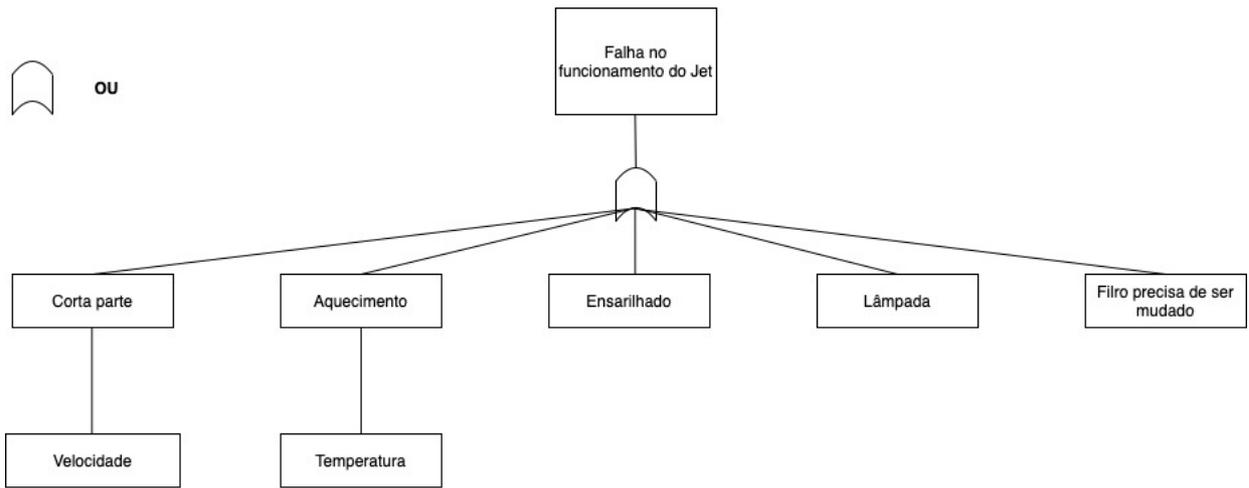


Figura 48- FTA Jet

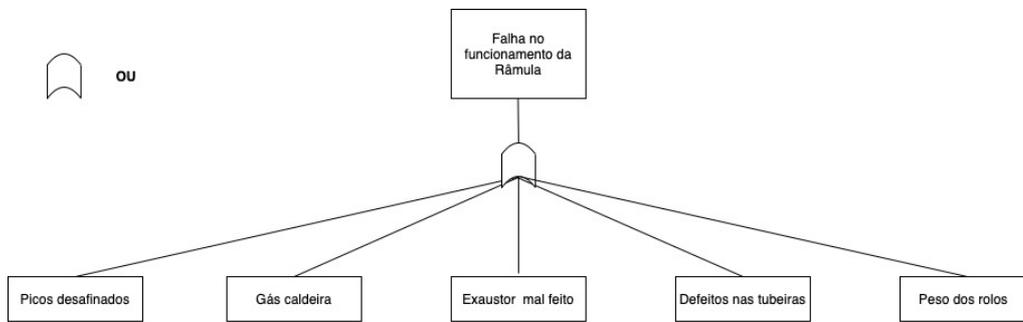


Figura 49- FTA Râmula