



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

# **Modelo de avaliação do nível de transformação digital numa organização. Caso de estudo**

**André Alexandre Alves Santana**

**Licenciado em Engenharia Mecânica**

**Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica**

**Orientador (es):**

**Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu**

**Doutor João Manuel Ferreira Calado**

**Júri:**

**Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques**

**Vogais: Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera**

**Doutor António João Pina Costa Feliciano Abreu**

**Fevereiro 2020**



## **Agradecimentos**

A existência dos incentivos e apoios que estão na génese da presente Tese Final de Mestrado foram centrais para que a mesma se tornasse uma realidade.

À Rita Serra pelo amor, paciência, compreensão e inabalável motivação que me deu para a concretização do presente trabalho. A forma como me acompanhou é uma representação do seu amor pleno.

À minha mãe por ser a minha referência de esforço e dedicação e, pelo incentivo latente que sempre me acompanhou.

Ao Professor Doutor António Feliciano Abreu e ao Professor Doutor João Manuel Ferreira Calado pela orientação, total disponibilidade e críticas que foram de extrema importância para a construção do presente trabalho.

## Resumo

O dinamismo e preferências dos consumidores dos mercados modernos tem conduzido a uma variabilidade e complexidade de produtos e serviços que exigem às organizações novas capacidades de gestão, controlo e customização. Tecnologias digitais e de conectividade têm vindo a ser integradas de forma evidente nos diversos sectores Industriais conduzindo ao novo paradigma da indústria 4.0, definida como a quarta revolução Industrial. As tecnologias subjacentes a este marco evolutivo permitem encurtar o espaço e o tempo das operações tal como aproximar os elementos das cadeias de valor, tornando objetos inanimados em elemento ativos de controlo e gestão dos processos que integram. A Indústria 4.0 está assente na conectividade, automatismos e autonomia materializada através de tecnologias digitais e da Internet.

Face a este momento transitório, torna-se central para as organizações perceber e interpretar o seu nível e progresso digital, identificando limitações e disrupções da rede informativa e interconectada de elementos. O propósito do presente trabalho é o de construir um modelo avaliativo do nível de digitalização organizacional, avaliando o quão as organizações operam dentro do contexto da Indústria 4.0, passo necessário ao dimensionamento e implementação de tecnologias e capacidades digitais. Deste modo, este trabalho tem como contributo o de desenvolver um modelo avaliativo suportado no contexto conceptual e tecnológico da Indústria 4.0 e, no contexto funcional e operacional das organizações digitais, gerando um conjunto de variáveis que permite aferir de forma progressiva e transversal às áreas de negócio, tipo e dimensão da organização, o nível de digitalização.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, modelo avaliativo, capacidades avaliativas, ativos, informação, pessoas.

## **Abstract**

The dynamism and preferences of the modern markets' consumer has led to a variability and complexity of products and services. This requires organizations to develop new capabilities of management, control and customization. Digital and connectivity technologies have been clearly integrated into the various industrial sectors, leading to the new industry 4.0 paradigm, defined as the fourth industrial revolution. The technologies underlying this evolutionary milestone make it possible to shorten the space and time of operations as well as bringing elements closer to value chains, turning inanimate objects into active elements of control and management of the processes they integrate. Industry 4.0 is based on connectivity, automatisms and materialized autonomy through digital technologies and the Internet.

Considering this transitory moment, it becomes indispensable for organizations to understand and interpret their level of digital progress, identifying limitations and disruptions of the elements' informational and interconnected network. The purpose of this paper is to construct an evaluative model of the organizational digitization level, assessing how organizations operate within the context of Industry 4.0, which is a necessary step in the digital technologies and capabilities sizing and implementation. Thus, this work contributes to the development of an evaluation model based on the conceptual and technological context of Industry 4.0 and also in the functional and operational context of digital organizations, generating a set of variables that allows a progressive and cross-sectional assessment of a company's level of digitization, according to its area of business, type and size.

**Keywords:** Industry 4.0, assessment model, assessment capacities, assets, information, people.

## Índice

Lista de Ilustrações .....	11
Lista de Tabelas .....	13
Lista de Siglas.....	14
Lista de Anexos .....	16
Lista de Gráfico .....	17
CAPÍTULO I – Contextualização e Problemática .....	18
1. Introdução.....	19
1.1. Contexto operacional das organizações .....	19
1.2. Indústria 4.0 – A digitalização das organizações.....	20
1.3. Organização e estruturação do Documento .....	21
1.4. Justificação e pertinência do estudo.....	22
1.5. Apresentação da Problemática.....	23
1.6. Questões e objetivos de investigação.....	24
1.7. Motivações.....	25
CAPÍTULO II – Revisão conceptual e tecnológica da Indústria 4.0 .....	26
2. Metodologia construtiva da revisão bibliográfica .....	27
2.1. Definição dos Vetores Diretores da revisão Bibliográfica .....	27
2.2. Abordagem à pesquisa Bibliográfica .....	28
2.3. Indústria 4.0 – Revisão conceptual .....	31
2.4. Objetivos Inerentes da I4.0 – As três direções da Integração .....	33
2.5. Agentes Tecnológicas – Os princípios subjacentes às tecnologias da I4.0 .....	34
2.6. As Tecnologias Fundamentais da Indústria 4.0 .....	35
2.6.1. Tecnologias de informação e comunicação TIC .....	37
2.6.2. A Internet das Coisas - IoT .....	38
2.6.3. <i>Cloud</i> .....	44
2.6.4. A internet dos serviços - IoS .....	47
2.6.5. <i>Big Data</i> .....	48
2.6.6. Simulação .....	49
2.6.7. Realidade Aumentada .....	50
2.6.8. Produção Aditiva.....	51
2.6.9. Robôs Autónomos .....	52
2.6.10. <i>Cyber-segurança</i> .....	53

2.6.11. Sistemas Físico digitais – <i>Cyber Physical Systems</i> .....	54
2.7. Desafios centrais à I4.0 .....	55
3. Arquiteturas da I4.0 .....	58
3.1. Arquiteturas definidas para estruturar o modelo Avaliativo .....	59
3.2. RAMI4.0 .....	60
3.2.1. Eixo do ciclo de Vida do RAMI4.0 .....	61
3.2.2. Eixo das camadas de Integração do RAMI4.0 .....	62
3.2.3. Integração da cadeia de valor .....	64
3.2.4. A Camada Administrativa – <i>Administration Shell</i> .....	64
3.2.5. Componentes I4.0 .....	65
3.3. IIRA - Industrial Internet Reference Architecture .....	66
3.3.1. Estrutura do IIRA .....	66
3.3.2. Pontos de vista do IIRA .....	67
3.3.3. Funcionalidades dos sistemas IoT .....	69
3.3.4. Domínio do Controlo .....	70
3.3.5. Domínio da Operação .....	71
3.3.6. Domínio da informação .....	72
3.3.7. Domínio da Aplicação .....	73
3.3.8. Domínio do Negócio .....	73
3.4. Interoperabilidade entre RAMI4.0 e IIRA .....	74
CAPÍTULO III – Modelo Avaliativo do nível de digitalização organizacional .....	76
3.5. Metodologia e abordagem construtiva do Modelo de avaliação .....	77
3.5.1. Abordagem à Globalidade avaliativa – Avaliação organizacional .....	80
3.5.2. Abordagem à globalidade avaliativa .....	81
3.5.3. Fronteiras e limites do modelo .....	84
3.5.4. Objetos do modelo de avaliação – ativos, informação e pessoas .....	85
4. Componente Estrutural – Estruturar para avaliar .....	88
4.1. Metodologia Construtiva .....	88
4.1.1. Abordagem à construção .....	90
4.1.2. Informação – A Matéria-prima da I4.0 .....	91
4.2. Componente Estrutural .....	93
4.2.1. Orientação por camadas .....	93
4.2.2. Camada 1 – Integração físico-Digital .....	94
Valores físico-digitais .....	94

Capacidades Avaliativas Físico-digitais.....	96
4.2.3. Camada 2 – Conectividade Global.....	98
Valores da Conectividade Global.....	98
Capacidades Avaliativas da Conectividade Global.....	99
4.2.4. Camada 3 – Informatização.....	101
Valores informacionais .....	101
Capacidades Avaliativas informacionais .....	103
4.2.5. Camada 4 – Fusão Físico-Digital.....	105
Valores da Fusão Físico-Digital.....	105
Capacidades Avaliativas da Fusão Físico-Digital.....	108
5. Componente Avaliativa – Contexto Digital da Organização .....	111
5.1. Abordagem Construtiva.....	111
5.1.1. Níveis avaliativos .....	112
5.2. Metodologia construtiva da Componente Avaliativa .....	115
5.2.1. Objetos Avaliativos .....	115
5.2.2. Áreas Avaliativas – A contextualização operacional dos objetos.....	115
5.2.3. Direções de avaliação.....	122
5.3. Nível avaliativo 1 – Vetores diretores da Operação Digital .....	123
5.3.1. Fluxo vertical de informação e Informação centralizada em sistemas – A representação virtual das operações .....	125
5.3.2. Ativos integrados em sistemas e como elementos de permeabilidade digital - A bipolaridade dos ativos.....	127
5.3.3. Operação digital local e remota – A descentralização das operações .....	129
5.3.4. Operador digital – Cultura e Operação digital .....	130
5.3.5. Operador digital – Interação e aumento digital.....	132
5.3.6. Tecnologias centrais da operação digital .....	133
5.4. Nível avaliativo 1 – Dimensões de avaliação .....	134
5.5. Nível avaliativo 2 – Vetores diretores da Gestão Digital das operações .....	136
5.5.1. Ativos colaborativos e automáticos .....	136
5.5.2. Fluxos bidirecionais e descentralização transversal da informação interdepartamental.....	141
5.5.3. Gestor Digital – Decisão descentralizada e gestão global.....	143
5.5.4. Gestor Digital – Cultura digital.....	145
5.6. Nível avaliativo 2 – Dimensões de avaliação .....	147
5.7. Nível avaliativo 3 - Vetores diretores do Ecosistema digital das operações....	149

5.7.1. Cadeia de Valor Digital – A partilha global de informação.....	149
5.7.2. Fluxos bidirecionais de informação ao longo da CV .....	151
5.7.3. Ativos como gestores autónomos dos processos .....	153
5.7.4. Ativos como serviços .....	155
5.7.5. Gestão digital do ciclo de vida de ativos.....	156
5.8. Nível avaliativo 3 – Dimensões de avaliação .....	158
6. Variáveis avaliativas.....	160
6.1. Metodologia construtiva das Variáveis Avaliativas .....	160
6.1.1. Posicionamento Tecnológico .....	163
6.1.2. Âmbitos Avaliativos.....	164
6.2. Contabilização Avaliativa.....	165
6.3. Variáveis Avaliativas .....	165
Capítulo IV – Aplicação do Modelo Avaliativo através de um caso de estudo .....	166
7. Caso de Estudo .....	167
7.1. Método .....	167
7.1.1. Objetividade .....	167
7.1.2. Inquérito como método de recolha de dados.....	168
7.1.3. Envolvimento Avaliativo .....	168
7.1.4. Condições de desenvolvimento do Inquérito .....	168
7.2. Elemento de análise .....	169
7.2.1. Contexto organizacional.....	169
7.2.2. Mapeamento das Operações do Elemento de Análise .....	170
7.3. Teste do Modelo .....	171
7.3.1. Avaliação Global.....	171
7.3.2. Distribuição das dimensões Avaliativas na Organização.....	173
7.3.3. O Âmbito da Produção e Operação.....	175
7.3.4. O Âmbito da Qualidade.....	178
7.3.5. O Âmbito da Logística .....	179
7.3.6. O Âmbito da Manutenção .....	180
7.3.7. O Âmbito das Vendas e Marketing .....	181
O âmbito das vendas e do Marketing apresenta um comportamento em tudo semelhante ao que fora descrito para os âmbitos anteriores.....	181
8. Conclusões.....	182
8.1. Conclusões do caso de estudo.....	182

8.2. Conclusões do trabalho .....	183
8.3. Limitações do modelo.....	184
8.4. Recomendações de trabalhos futuros.....	185
9. Revisão Bibliográfica .....	187
Anexos.....	191

## Lista de Ilustrações

- Figura 1 – Abordagem *pull* à definição de métricas da pesquisa Bibliográfica.
- Figura 2 – Taxonomia de dados da IoT.
- Figura 3 – Componentes das IoT.
- Figura 4 – Camadas da IOT numa arquitetura orientada para Serviços.
- Figura 5 – Estruturas de processamento de dados centrais à IoT.
- Figura 6 – A construção dos Sistemas Físico-digitais.
- Figura 7 – Representação esquemática do RAMI4.0.
- Figura 8 – Componente I4.0 composto por ativo físico e Camada Administrativa.
- Figura 9 – IIRA – Pontos de vista, preocupações, modelos e *Stakeholders*.
- Figura 10 – Domínios do ponto de vista da funcionalidade.
- Figura 11 – Interoperabilidade entre o RAMI4.0 e o IIRA.
- Figura 12 – Esquemática da composição do modelo avaliativo.
- Figura 13– Particularização das componentes do modelo.
- Figura 14 – Avaliação do nível digitalização direcionada somente para os *outputs* da estrutura digital.
- Figura 15 – Avaliação do nível de digitalização direcionada para a funcionalidade da estrutura digital.
- Figura 16 – Forças dimensionais das camadas avaliativas.
- Figura 17 – O ciclo informacional. A informação como a matéria-prima da I4.0.
- Figura 18 – Valores da Camada 1 – Integração Físico-Digital.
- Figura 19 – Valores da camada 2, conectividade global.
- Figura 20 – Valores da camada 4 – informatização.
- Figura 21 – Valores da camada 4 – Fusão físico-Digital.
- Figura 22 – Áreas de avaliação por objeto.
- Figura 23 – Abordagem à objetividade e contexto avaliativo – relação entre áreas de avaliação e vetores diretores.
- Figura 24 – Pirâmide clássica de controlo organizacional.
- Figura 25 – Operação Digital. A relação entre ativos, Operador Digital e sistemas de informação.
- Figura 26 – A conjectura da gestão digital das operações.
- Figura 27 – Ecossistema Digital.

Figura 28 – Relação das capacidades avaliativas com nível avaliativo 1.

Figura 29 – Relação das capacidades avaliativas com nível avaliativo 2.

Figura 30 – Relação das capacidades avaliativas com nível avaliativo 3.

Figura 31 – Escala Avaliativa.

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 – Os Agentes Tecnológicos que alavancam a I4.0 referidos nas 10 bibliografias mais citadas.

Tabela 2 – As seis camadas da componente estrutural

Tabela 3 – Capacidades Avaliativas da camada 1, físico-digital

Tabela 4 – Capacidades da camada 2, conectividade Global

Tabela 5 – Capacidades da camada 3, informatização

Tabela 6 – Capacidades da camada 4, Fusão físico-Digital

Tabela 7 – Níveis Avaliativos

Tabela 8 – Relação entre vetores diretores e áreas de avaliação do nível 1

Tabela 9 - Relação entre vetores diretores e áreas de avaliação do nível 2

Tabela 10 - Relação entre vetores diretores e áreas de avaliação do nível 3

## **Lista de Siglas**

AS – *Administration Shell*

BD – *Big Data*

CAD – *Computer aided Design*

CAE – *Computer aided Engineering*

CAM - *Computer aided Manufacturing*

CC – *Computação na Cloud*

CM – *Cloud Manufacturing*

CPPS – *Cyber Physical Production Systems*

CPS – *Cyber Physical Systems*

CRM - *Customer Relationship Management*

CV – *Cadeia de Valor*

DG – *Digitalização Global*

EC – *Edge Computing*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FC – *Fog computing*

HMI – *Human Machine Interface*

I4.0 – *Indústria 4.0*

IaaS – *Infrastructure as a Service*

ICV – *Integração do Ciclo de Vida*

IEC - *International Electrotechnical Commission*

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IH – *Integração Horizontal*

IIRA - *Industrial Internet Reference Architecture*

IMSA - *Intelligent Manufacturing System Architecture*

IoP – *Internet of People*

IoS – *Internet of Service*

IoT – *Internet of Things*

IoT2B – *Internet of Things to Business*

IoT2C – *Internet of Things to Client*

ISA – *International Society for Automation*

IV – *Integração Vertical*

IVRA - *Industrial Value Chain Reference Architecture*

KPI – *Key performance Indicator*

MES – Manufacturing Execution Systems

NIPP - *National Infrastructure Protection Plan*

PA – Produção Aditiva

PaaS – *Platform as a Service*

PLC – Programmable Logic Controller

PLM - *Product lifecycle Management*

PME's – Pequenas e Médias Empresas

RA – Realidade Aumentada

RAMI4.0 - *Reference Architecture Model Industry 4.0*

RFID – Radio Frequency Identification

SaaS – *Software as a Service*

SF – *Smart Factory*

SME - *Smart Manufacturing ecosystem*

SOA – *Service Oriented Architecture*

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

VA – Variáveis Avaliativas

## **Lista de Anexos**

Anexo 1 – Posicionamento das Tecnologias na Organização

Anexo 2 – Variáveis Avaliativas

Anexo 3 – Variáveis Avaliativas

Anexo 4 – Relações entre as operações do Elemento de Análise

Anexo 5 – Inquérito Avaliativo

Anexo 6 – Inquérito Avaliativo

## **Lista de Gráfico**

Gráfico 1 - Avaliação global apresentado sobre os âmbitos avaliativos

Gráfico 2 – Nível de digitalização nos diversos âmbitos de avaliação

Gráfico 3 – Avaliações por dimensão Avaliativa do âmbito Produção e Operações

Gráfico 4 – Avaliações por dimensão Avaliativa do âmbito da Qualidade

Gráfico 5 – Avaliações por dimensão Avaliativa do âmbito da Logística

Gráfico 6 – Avaliações por dimensão avaliativa do âmbito da Manutenção

Gráfico 7 – Avaliações por dimensão avaliativa do âmbito de Vendas e Marketing

## **CAPÍTULO I – Contextualização e Problemática**

## 1. Introdução

### 1.1. Contexto operacional das organizações

Os mercados do século XXI apresentam padrões de preferência e exigência que impõem novas condições e requisitos às capacidades produtivas e operacionais das organizações. A diminuição do *time to market* exige às organizações uma maior proximidade às necessidades de produtos e serviços requeridas pelos consumidores e elementos das cadeias de valor, com tempos de desenvolvimento, teste, aprovação e distribuição mais curtos [1]. Cada consumidor, cliente e parceiro vê valor em soluções à medida, customizadas e específicas para cada aplicação [2]. Esta customização conduz às necessidades de individualização de produto e diminuição dos lotes a produzir [3]. Associadas a estas pressões, a variabilidade do mercado traduz-se em variabilidade do número de pedidos, previsões e longevidade de contratos e acordos, traduzindo-se em variabilidade para o contexto operacional da organização [4].

A redução do ciclo de vida dos produtos exige às organizações rápida adaptação a novos produtos e serviços e uma capacidade de gerar valor em períodos de tempo mais reduzidos [3]. Associados à customização de produtos e ao seu ciclo de vida mais curto está a exigência de uma maior complexidade do produto e de serviços tal como a complexidade de gerir um maior e mais diversificado catálogo de produtos e serviços [3, 2].

Ao nível das preferências, os consumidores vêm cada vez mais valor na oferta e usufruo de um serviço de qualidade, dedicado e especializado, que sustenta e satisfaz os diversos interesses dos consumidores ao invés da aquisição de produtos isolados. A cadeia *pull* de Michael Porter vê agora a necessidade de gestão e customização dos canais de distribuição, intervenientes e prioridades, não só em estágios *outbound*, mas em todo o fluxo de valor, desde o desenvolvimento, produção, distribuição e reciclagem.

No que concerne à macro composição dos mercados, a liberalização dos mesmos permitiu a entrada de diversos *players*, tornando os mercados mais competitivos e exigentes [2]. A existência de mais *players* traduz-se naturalmente em cadeias e valor mais complexas, com elementos mais especializados nas diversas áreas de negócio, permitindo oferecer produtos e serviços globais de maior qualidade e maior índice de valor. No entanto, a complexidade das cadeias de valor conduz à necessidade de gerir um

maior número de interações, condições e necessidades de planeamento, coordenação e, gestão e partilha de informação [2].

A envolvimento socioeconómica das organizações exige uma elevada flexibilidade, transparência e eficiência na utilização de recursos e da informação [5, 6]. As pessoas como centróide organizacional de gestão e controlo necessitam de decidir em intervalos de tempo mais reduzidos, suportados com dados e factos que as permite ter uma visibilidade real do ecossistema circundante, de rapidamente experimentarem e aprenderem [4, 6].

## **1.2. Indústria 4.0 – A digitalização das organizações**

O aumento das Tecnologias de informação e comunicação em ambientes industriais tem permitido digitalizar as cadeias de valor integrando as tecnologias de operação como máquinas, dispositivos de transporte, estações de trabalho no contexto digital [7], suportando as exigência e condições organizacionais descritas de rápida adaptabilidade [2].

A descentralização dos recursos computacionais e de comunicação permitem integrar recursos e processos organizacionais, conectando os mesmos verticalmente aos sistemas de informação e de controlo e, conectando horizontalmente sistemas de informação de parceiros e clientes das cadeias de valor [8].

A digitalização das organizações e cadeias de valor tem-se materializado através da 4ª revolução industrial denominada Indústria 4.0 [1, 5]. A Indústria 4.0 permite a digitalização de produtos e serviços, criando redes conectadas, cooperantes e autónomas, controlando eficientemente as operações respondendo às necessidades da envolvimento interna e externa da organização [9].

A adoção de tecnologias de conectividade e a criação de uma cultura digital suportada na informação são condições centrais à performance e competitividade de qualquer organização [10]. A aplicabilidade da Indústria 4.0 é indiferenciada da tipologia e dimensão organizacional devendo ser encarada como uma condição central e necessária tanto a PME's (Pequenas e Médias Empresas) como a grandes empresas [11].

Data a importância de transitar dos sistemas tradicionais para uma realidade digital, torna-se central para qualquer organização compreender e interpretar o seu nível

de digitalização operacional, interpretando as lacunas que possui [11] e a sua posição na jornada de transformação digital.

A definição de planos de implementação, necessidades particulares de conectividade e partilha só podem ser definidos ajustadamente caso se conheça à *priori* a realidade digital da organização. A construção de um modelo avaliativo, transversal e global a qualquer tipologia organizacional ou área de negócio, do nível de digitalização da gestão das operações, constitui-se como uma ferramenta necessária na determinação do quão digital uma organização é, nomeadamente no que respeita a gestão das suas operações.

O estado de digitalização organizacional é suportado no presente trabalho nos princípios e condições subjacentes à Indústria 4.0. A Indústria 4.0 é a revolução industrial direcionada para a digitalização e conectividade dos sectores industriais e dos serviços, sendo uma abordagem global e transversal ao tipo de negócio. Deste modo, o estudo do nível de digitalização organizacional no presente trabalho será construído avaliando o quão suportada está a organização nas tecnologias e métricas que corporizam a Indústria 4.0. Existe deste modo a necessidade primária de compreender e estruturar conceptualmente a Indústria 4.0, interpretando as tecnologias que a corporizam, os seus objetivos e necessidades na construção de uma realidade digital.

### **1.3. Organização e estruturação do Documento**

O Capítulo número um dedica-se ao enquadramento contextual para a realização do presente trabalho, analisando a necessidade da sua existência, o problema em estudo, objetivos a atingir no presente estudo e as motivações subjacentes ao desenvolvimento do mesmo.

O capítulo segundo dedica-se à revisão do estado da arte, analisando os princípios centrais da Indústria 4.0 e as tecnologias que a materializam. Neste capítulo é realizada uma exposição das arquiteturas que padronizam competências e conceitos da Indústria 4.0 estudando a interoperabilidade entre as duas arquiteturas centrais à construção do modelo de avaliação.

No capítulo terceiro, o modelo avaliativo é construído. Primeiramente, o capítulo dedica-se à estruturação das capacidades de avaliação, abstratas e globais, oriundas dos princípios e condições da Indústria 4.0. De seguida são definidas as dimensões avaliativas

referentes às organizacionais, definindo-se o contexto e direções de avaliação nas quais as capacidades avaliativas definidas anteriormente se devem efetivar. Por último, o capítulo dedica-se à definição das variáveis de avaliação, o *output* do modelo e que permitem avaliar o nível de digitalização operacional da organização.

No que respeita ao quarto capítulo, o modelo avaliativo é aplicado num caso de estudo avaliando o nível de digitalização organizacional. Uma análise e interpretação dos dados é realizada.

O último capítulo, capítulo cinco, consagra a conclusão e propostas de trabalhos futuros.

#### **1.4. Justificação e pertinência do estudo**

A migração dos métodos de operação tradicionais para um contexto digital é uma condição imperativa para a subsistência das organizações. As organizações têm de executar estratégias sistemáticas de implementação de sistemas digitais tal como convergir a sua cultura e prioridades para as necessidades de gestão da informação.

A construção e delimitação das necessidades de implementação de sistemas digitais, requer em primeira instância do conhecimento intrínseco da organização, das áreas fundamentais a digitalizar, dos parâmetros relevantes para o controlo e monitorização das operações.

A multiplicidade de contextos organizacionais dada a conjectura de cada organização e da própria interpretação do que são sistemas digitais e quais os seus objetivos, exige primeiramente a necessidade de modelar a abordagem à avaliação digital para construir uma coerência avaliativa. É de referir que a Indústria 4.0 e a conseqüente digitalização de sistemas organizacionais são conceptualizações em desenvolvimento, assente em tecnologias que perspetivam sistemas globalmente conectados, que partilham dados em qualquer instante, em qualquer localização, em qualquer formato, num qualquer meio sendo deste modo central um enquadramento das suas necessidades e aplicabilidades no contexto organizacional.

Deste modo, as organizações têm primeiramente que interpretar os seus níveis de digitalização para construir planos e condições de implementação e evolução ajustados à sua realidade interna.

Dados os custos associados às tecnologias e as necessidades de alterações culturais, a avaliação do nível de digitalização em primeira instância é uma condição central ao desenvolvimento de um plano de implementação enquadrado às necessidades e objetivos organizacionais.

A análise à instauração de sistemas digitais assentes na Indústria 4.0 não pode ser feita isoladamente, a áreas e necessidades organizacionais particulares. As necessidades de cada área organizacional têm de ser analisadas numa perspetiva global, interpretando as necessidades locais elevando-as aos sistemas de informação e tecnologias que asseguram a globalidade da digitalização e a interoperabilidade de sistemas. Deste modo, é premente a interpretação das necessidades de digitalização segundo uma abordagem global, macro organizacional e macro tecnológica.

Interpretar digitalmente a organização quantificando o seu posicionamento digital, enaltecendo limitações tanto a nível tecnológico como disrupções de informação em áreas particulares da organização, constituem-se como os argumentos centrais à justificação da existência do presente trabalho.

## **1.5. Apresentação da Problemática**

Dada a abrangência da Indústria 4.0, existe a necessidade de construir um modelo avaliativo global, que percecione a globalidade dos parâmetros que lhe são inerentes. Paralelamente, a complexidade da indústria 4.0 em torno das suas tecnologias e princípios subjacentes não apresentam uma total clareza quanto a fronteiras, limites conceptuais e uma estrutura convencionada.

A Indústria 4.0 tem visto a intensificação do seu estudo e desenvolvimento desde o início da presente década estando em franco desenvolvimento. Por seu turno, dada a abrangência tecnológica e os múltiplos estudos desenvolvidos por diversas entidades em todo o mundo, não existe uma convenção e aceitação de um standard conceptual e de aplicação, constituindo-se como uma das dificuldades centrais á abordagem avaliativa.

Avaliar a organização dum perspectiva digital implica primeiramente determinar o que se pretende medir, de que forma é que a Indústria 4.0 é contextualizada na organização e quais as competências que conferem à mesma. Como parte da problemática em estudo, existe a necessidade de abordar a forma como as organizações materializam a digitalização, compreendendo as diferentes dimensões ao nível cultural, tecnológico e

informacional definindo as formas como se relacionam. Paralelamente, dada a multiplicidade de tipologias e distintas áreas organizacionais, existe a necessidade de construir uma abordagem avaliativa transversal que não seja limitada pelas condicionantes e características específicas de cada organização ou cada área organizacional.

Assume-se como parte da problemática a construção de um modelo avaliativo que esteja a um nível abstração que garanta a especificidade da avaliação e, em simultâneo, a aplicação transversal face ao tipo, tamanho e nível digital da organização.

Dado o cariz inovador da Indústria 4.0 e da complexidade das condições necessárias aos sistemas digitais, diversos são os intervenientes e organizações cujo conhecimento do referido contexto é nulo ou praticamente nulo. Impõem-se como condição a estruturação de um modelo de avaliação interpretável por qualquer pessoa, independentemente do nível de conhecimento das tecnologias e métodos da I4.0.

## **1.6. Questões e objetivos de investigação**

Dada a importância das necessidades de avaliação do nível de digitalização apresentadas anteriormente, é agora tempo de definir quais as questões fundamentais a que o presente trabalho se propõe a responder. A definição de questões é central para a construção de objetivos claros e diretores da abordagem construtiva do modelo:

- Qual o nível de digitalização organizacional ao nível da gestão das operações?
- Qual o nível de digitalização operacional nas diferentes áreas organizacionais?
- Quais as limitações e constrangimentos da gestão digital das operações?

O objetivo do presente trabalho é o de criar um modelo avaliativo que auxilie as organizações na avaliação do quão digital é a gestão das suas operações como um todo, abrangendo as suas diversas áreas organizacionais. O *output* da avaliação constitui-se num indicador do nível de digitalização.

## 1.7. Motivações

A Indústria 4.0 suportada em tecnologias digitais permite conectar veículos, pessoas ou máquinas, criando uma envolvimento digital tanto interna como externa às organizações, constituindo-se como a base de competitividade das mesmas. Construir um modelo avaliativo requer primeiramente da compreensão dos conceitos e tecnologias subjacentes do que se irá avaliar.

A oportunidade de estudar e de deliberar sobre as temáticas inovadoras da Indústria 4.0 que se constituem e, constituirão como as práticas dos contextos produtivos futuros é por si só uma motivação. O que pode ser mais motivante que analisar temas inovadores que modelam o mundo que habitamos?

No que respeita à construção do modelo avaliativo, além do estudo das temáticas, é exigido uma análise mais profunda, interpretativa, que requer de uma abordagem holística. A necessidade de criar um modelo transversal, exige uma interpretação abstrata, global, não só no contexto da Indústria 4.0, mas também do *modus operandi* das organizações. Construir um modelo que supere a complexidade exigida constitui-se como um desafio ebriático.

## **CAPÍTULO II – Revisão conceptual e tecnológica da Indústria 4.0**

## 2. Metodologia construtiva da revisão bibliográfica

### 2.1. Definição dos Vetores Diretores da revisão Bibliográfica

A definição do que são os elementos, conceitos e contextos da revisão bibliográfica do presente trabalho advêm de uma abordagem *pull*, em que os objetivos para a avaliação definem as necessidades do modelo e, as necessidades deste definem as necessidades da revisão bibliográfica. Deste modo, para compreender a abordagem definida para a revisão bibliográfica, é relevante apresentar primeiramente os vetores diretores de cada componente do presente trabalho que delimitam e definem a construção de cada fase do presente trabalho.

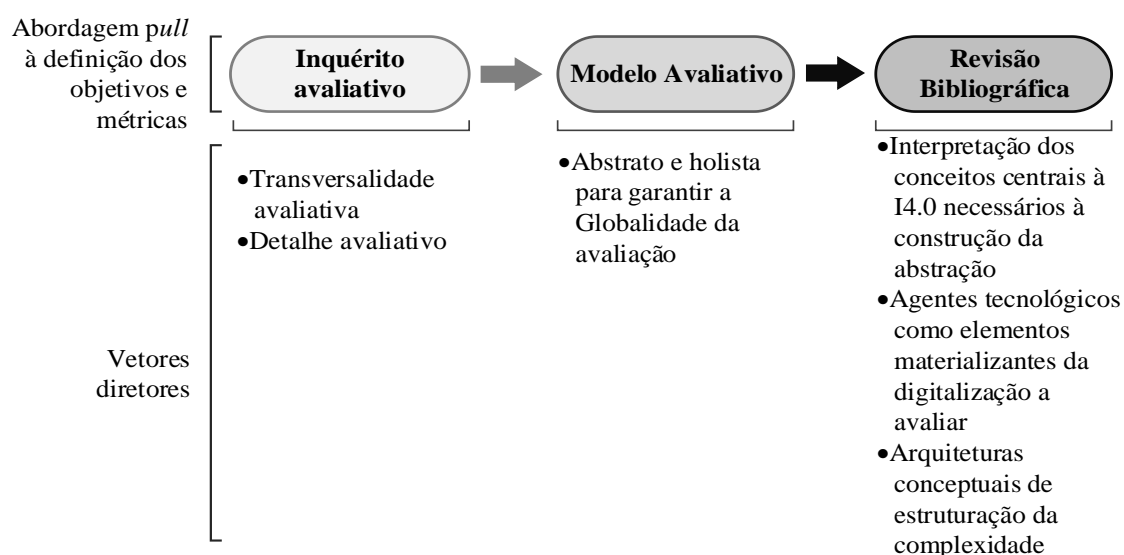


Figura 1 – Abordagem *pull* à definição de métricas da pesquisa Bibliográfica.

As variáveis avaliativas produzidas no presente trabalho têm como considerações centrais de construção as necessidades de transversalidade aplicacional dado que os elementos digitais que compõem uma organização são cada vez mais vastos e que cada organização apresenta uma identidade específica, uma impressão digital única moldada tanto por condições internas e externas. Esta variabilidade da tipologia do elemento a avaliar (organizações), é um dos desafios centrais à construção de uma avaliação que seja simultaneamente transversal e que permita detalhar com precisão o contexto digital. Face ao descrito, definiu-se que os princípios construtores do modelo teriam de advir dos conceitos e conjectura que definem conceitualmente a I4.0, cujo nível de abstração a

particularidades e especificidades tecnológicas ou organizacionais. Esta abordagem permite erigir um modelo global e holista, alheio a particularidades, modelar no que concerne à sua aplicação.

As métricas gerais tanto para o modelo como para o que se pretende com a avaliação em si mesmo polarizaram os vetores diretores da revisão bibliográfica. Os três vetores diretores são apresentados na figura 1:

- A definição conceptual
- Os agentes tecnológicos
- As arquiteturas conceptuais

A definição conceptual pretende de forma breve definir a I4.0 e os objetivos globais subjacentes à sua aplicação. Como qualquer revolução industrial, a introdução de agentes tecnológicos inovadores e potenciadores de novas capacidades é um padrão característico. Deste modo, a interpretação das necessidades e valência conferidas por estes agentes, é um uma condição obrigatória do estudo deste trabalho de forma a desenvolver um entendimento claro não só das suas necessidades e capacidades, mas do que é realmente a I4.0 [12]. No que respeita ao terceiro vetor, a I4.0 na sua plenitude apresenta carácter complexo e inovador. O recurso a arquiteturas conceptuais tem o propósito de fazer face a esta complexidade, percecionando de forma estruturada o que se está a estudar. De forma mais ampla, as arquiteturas conceptuais são também usadas na construção do modelo dado o seu carácter abstrato, funcionando como estruturas de suporte à interpretação desenvolvida pelo autor tanto do que é a I4.0 como do que é o modelo de avaliação.

## **2.2. Abordagem à pesquisa Bibliográfica**

Definidos os vetores diretores da pesquisa bibliográfica, é agora momento de definir a abordagem à construção e desenvolvimento da pesquisa bibliográfica. A pesquisa bibliográfica foi inicialmente fracionada em três partes, em que cada parte se dedicava à pesquisa de referências bibliográficas específicas a cada vetor diretor. No que respeita ao vetor diretor da definição conceptual e objetivos inerentes da I4.0, esta abordagem revelou-se totalmente desajustada. A não existência de referências bibliográficas dedicadas à conceptualização da I4.0, dos seus principais conceitos ou da forma como se relacionam, obrigou a uma abordagem distinta. A incapacidade de isolar

referências bibliográficas dedicadas à conceptualização da I4.0 conduziu a que a pesquisa deste vetor se realizasse de forma diluída, abordando todas as referências primeiramente numa perspetiva de interpretação dos conceitos e diretrizes que definem a I4.0 e, somente após esta análise, uma interpretação e estudo dos objetivos particulares (características das IoT ou da impressão 3D p. ex.) dessas bibliografias. Esta inexistência de uma revisão dedicada à conceptualização da I4.0, é uma consequência do carácter inovador e em desenvolvimento desta matéria.

No que respeita ao vetor diretor dos agentes tecnológicos, o segundo vetor, o conjunto de referências bibliográficas dedicadas aos mesmos é abundante, existindo estudos referentes à aplicação dos mesmos em diversos contextos, relacionando os diversos agentes e explanando a forma como se complementam. Para o estudo dos diversos agentes tecnológicos, foi utilizado um conjunto de bibliografias dedicadas às suas particularidades e, bibliografias cujo contexto não lhes está totalmente direccionado para o seu estudo, mas, que permite posicioná-los no que é o seu papel e função na transformação digital. Esta foi uma das dificuldades sentidas no presente trabalho, compreender a função e necessidades de cada tecnologia na I4.0, se existe alguma necessidade de priorização entre si e como se relacionam.

Iniciado o estudo dos agentes tecnológicos, é também o momento de identificar quais os que são centrais à I4.0 e que são alvo de estudo no presente trabalho. O número de agentes tecnológicos mais comumente referenciados nas 10 bibliografias mais citadas em 2016 são apresentados na tabela 1.

<b>Agentes Tecnológicos</b>	<b>Citações</b>
<i>Cyber Physical Systems (CPS)</i>	10
<i>Internet of Things (IoT)</i>	8
<i>Radio-Frequency Identification</i>	8
Robôs	6
<i>Big Data</i>	6
<i>Cloud</i>	6
Simulação	6
<i>Smart Factory</i>	6
<i>Human-Computer-Interaction</i>	5
<i>Modularisation</i>	5
<i>Product lifecycle management</i>	5
<i>Augmented reality, Virtual reality</i>	4
Impressão 3D	3
<i>Mobile Computing</i>	3
<i>Social Media</i>	3

Tabela 1 – Os Agentes Tecnológicos que alavancam a I4.0 referidos nas 10 bibliografias mais citadas [7].

O padrão apresentado na tabela 1 é também manifestado nas referências bibliográficas utilizadas no presente trabalho. Contudo, é de referir que os agentes tecnológicos da tabela 1 não serão estudados na sua totalidade ou de forma particular dadas as considerações assumidas.

- As tecnologias de *Radio-Frequency Identification* (RFID) são definidas como pertencentes à *Internet of Things* (IoT), não existindo um estudo dedicado.
- A *Smart Factory* considerada como agente tecnológico na referência bibliográfica [7] é no presente trabalho definida como um resultado a atingir com as tecnologias da I4.0, não sendo um agente em si mesmo dada a sua amplitude conceptual e tecnológica que a constitui.
- As Interações Homem Computador ou Homem máquina não são alvo de um estudo detalhado, sendo abordadas no estudo de outros agentes tecnológicos.
- A gestão do ciclo de vida dos produtos é encarada como uma das direções centrais de integração da I4.0, capítulo 2.3, não sendo uma tecnologia em si mesmo.
- A computação móvel é abordada no estudo da IoT e da *Cloud*, através da *Edge* e *Fog Computing*.

Dada a complexidade e carácter abstrato para o vetor diretor das arquiteturas, definiu-se como necessidade central para o estudo das mesmas, o recurso a bibliografias totalmente dedicadas que explorem as particularidades e conceções que lhe estão inerentes, interpretando claramente a sua complexidade e elementos construtores. As arquiteturas estudadas no presente trabalho têm como arquitetos construtores instituições governamentais e industriais, dado que os países de origem das mesmas sentem necessidades de definir uma clara orientação para a transformação digital da I4.0. São as bibliografias oriundas destas instituições que são centrais ao estudo e entendimento das arquiteturas, analisando integralmente as suas estruturas. Complementarmente, o recurso a bibliografias científicas permitiu o estudo do relacionamento entre as arquiteturas e a forma como se relacionam com os diversos agentes tecnológicos.

### **2.3. Indústria 4.0 – Revisão conceptual**

A I4.0 foi cunhada em 2011 pelo Governo Alemão com o objetivo estratégico de desenvolver sistemas produtivos avançados para aumentar a produtividade e competitividade da Indústria [13]. Esta transição conceptual do estado da arte Industrial representa uma nova fase para os sistemas produtivos, suportados em tecnologias digitais que não se dedicam somente à integração de processos e objetos, mas também à integração dos seus ciclos de vida [13].

Múltiplas são as definições atribuídas à Indústria 4.0 (I4.0), que dado o seu carácter global e evolutivo, manifesta uma indeterminação das fronteiras, modos de atuação, da sua origem e aplicação.

A I4.0 é definida como a introdução das tecnologias inerentes às Internet das coisas (IoT) no âmbito industrial, melhorando sistematicamente produtos e processos através da automatização e extensa utilização do *networking* com recurso às Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), permitindo a integração de dados e da utilização de mecanismos de controlo digitais [10]. Tecnologias *cloud*, *Big Data* (BD), TIC, Produção Aditiva (PA), os *Cyber Physical Systems* (CPS), simulação, virtualização, sistemas autónomos, interação homem máquina, IoT, Internet dos Serviços (IoS) e realidade aumentada são centrais à I4.0 [7, 10, 14, 26]. A I4.0 é a integração de máquinas e dispositivos físicos digitalmente, através de sensores e *softwares*, ligados em rede de

forma a prever, controlar e planear, melhorando os resultados do negócio e da sociedade em si [5], tanto para o negócio IoT2B como para o cliente IoT2C [15].

A redução progressiva do preço de sensores, atuadores e microprocessadores tem permitido uma aplicação mais comum dos mesmos nos mais variados contextos tornando-os omnipresentes aos sistemas produtivos [16]. Os dispositivos conectados sustentam a I4.0, autoajustáveis (*self-aware*) permitem construir uma rede interoperável ao longo da cadeia de valor e ao longo do ciclo de vida dos produtos [3]. A visão futura da produção remete para sistemas produtivos modulares, eficientes e flexíveis, em que os produtos controlam os próprios processos que integram suportando a *mass customization* [6] em que os clientes têm uma elevada capacidade de decisão no nível de customização e particularidades dos produtos [16]. A personalização em massa é um dos objetivos centrais da I4.0 numa estrutura de produtos abertos em que os mesmos são definidos através de uma estrutura digital permeável às necessidades e preferências dos clientes que começa na fase de *design* [12].

A I4.0 consiste na transição de sistemas industriais automatizados controlados por computadores (Indústria 3.0) para sistemas que reúnem e analisam dados desde o chão de fábrica adaptando-se e tomando decisões de forma autónoma [16]. A I4.0 pelos sistemas flexíveis e de rápida adaptação que constrói proporciona a *mass customization*, central às necessidades de individualização não só no produto em si, mas também nas condições e requisitos de desenvolvimento, produção, entrega, uso e reciclagem [17]. A capacidade de recolha e partilha de dados ao longo das fases do ciclo de vida permite entregar às cadeias de valor e ecossistemas as melhores soluções, uma maior quantidade de valor no instante mais oportuno, recolhendo informações relevantes para inovações e necessidades futuras [17]. A integração das tecnologias IoT, da Computação na *Cloud* (CC), capacidades avançadas de análise e dos CPS permitem a construção de uma sociedade de serviços na indústria na qual as diversas partes autónomas concedem acessos temporários aos seus recursos em forma de serviços [12]. Esta abordagem operacional confere aos sistemas produtivos um carácter reconfigurável, baseado no *plug and produce* com o propósito de fornecer produtos e serviços inteligentes, sustentáveis e personalizados [12].

A introdução das tecnologias que compõem a I4.0 no contexto industrial permitem a estruturação de Fábricas e sistemas produtivos inteligentes definidos como *Smart Factories* (SF). Estes sistemas são caracterizados por capacidades de tempo real na resposta e adaptação a variações das necessidades dos clientes e da rede de fornecedores

[12]. Os sistemas produtivos que constituem a SF denominados de *Smart Manufacturing Systems*, são caracterizados pela extensa digitalização, direcionados para arquiteturas baseadas em serviços *Service Oriented Architecture (SOA)*, CPS autônomos, redes colaborativas, sistemas avançados de análise e capacidades de decisão descentralizadas [12].

#### **2.4. Objetivos Inerentes da I4.0 – As três direções da Integração**

A I4.0 tem o objetivo central de integrar a informação e as diferentes tecnologias que a compõem, digitalizando sistemas e ecossistemas [18]. A integração é estruturada em três direções fundamentais denominadas de integração horizontal, integração vertical e integração do ciclo de vida envolvendo o ciclo de engenharia de um extremo a outro [1, 7, 19, 20].

A transparência e visibilidade é contruída através da troca de dados entre os diversos atores das cadeias de valor [19]. Existe deste modo, a necessidade das organizações e intervenientes cooperarem de forma próxima além das fronteiras organizacionais [7]. A integração horizontal (IH) consiste na interoperabilidade entre diferentes sistemas e tecnologias de clientes, fornecedores e distribuidores, nas diversas fases de produção, planeamento, distribuição, uso e manutenção [19], garantindo a existência de informação através de um fluxo de dados contínuo [10]. Rastreabilidade de materiais, introdução de alterações aos produtos e serviços em tempo real, contratação automática de serviços, monitorização à distância de produtos, estados de stock são construídos com a IH [19, 42]. A IH é central à I4.0 à medida que os limites organizacionais se desvanecem dado que cada vez mais processos e organizações os atravessam [21].

A integração vertical (IV) dedica-se à interoperabilidade dos ativos organizacionais, conectando produtos, máquinas sistemas de informação, ao longo da hierarquia organizacional [19, 42]. A IV é condição primária à construção da SF [19]. Capacidades de monitorização dos ativos, necessidades de paragem, necessidades de manutenção, níveis de stock, níveis de qualidade são facilmente identificadas, diminuindo desperdício e alocando eficazmente os recursos organizacionais [19]. Permite alinhar a configuração de máquinas e produtos com necessidades hierárquicas superiores, estratégicas. A rede conectada de componentes permite um ajuste em tempo real,

dispositivos de interface com o Humano permitem que a monitorização de processos e a inteligência artificial a constituição de uma organização autónoma [7].

A Integração do ciclo de vida (ICV) permite a interdisciplinaridade da engenharia ao longo do ciclo de vida, permitindo adaptar nas fases de desenvolvimento, produção, teste, os produtos e serviços mediante necessidades ou condições de inovação [42]. A ICV permite a customização de produtos, redução de custos de produção, diminuir tempos de lançamento [19, 42]. Integrar digitalmente o ciclo de vida dos produtos permite também recolher informações em qualquer ponto, perceber formas de uso e necessidades dos diversos intervenientes das cadeias de valor [22]. As capacidades digitais da ICV conferidas às organizações permitem diminuir a distância entre o desenvolvimento e utilização do produto [21], envolvendo os intervenientes da interação e gestão do produto de forma mais próxima, na partilha de expectativas, requisitos ou necessidades.

Central às condições de integração das três direções e de qualquer sistema digital assente no paradigma da I4.0 estão as condições de interoperabilidade [5]. A integração e interoperabilidade de sistemas são fatores chave no contexto da I4.0 [5, 23]. A interoperabilidade consiste nas capacidades de troca de dados e no entendimento dos mesmos entre elementos diferentes e heterogéneos [23] em diversos níveis [5, 24]. A interoperabilidade técnica diz respeito à capacidade de troca de informação respeitando protocolos, standards e condições de *softwares* e plataformas TIC [5, 24]. A interoperabilidade sintática é referente à troca de informação respeitando formatos de dados específicos [5, 24]. A perspectiva semântica da interoperabilidade é referente à compreensão do contexto de distintos formatos de dados [24].

## **2.5. Agentes Tecnológicas – Os princípios subjacentes às tecnologias da I4.0**

A visão das organizações do futuro assentes no paradigma da I4.0 são caracterizadas por sistemas produtivos modulares, eficientes e autónomos, em que os produtos controlam os próprios processos [6]. Os sistemas produtivos da I4.0 são interoperáveis estando conectados globalmente. Subjacente a estas condições estão os agentes tecnológicos que caracterizam as tecnologias da I4.0 [6]. O aumento da automação e da integração de sistemas digitais representa uma das alavancas tecnológicas, com a introdução de automatismos, sistemas autónomos, sistemas que cooperam entre si, robotização e capacidades computacionais de análise [6]. A

miniaturização de dispositivos e componentes eletrônicos, de processadores, sensores e atuadores intensificam a sua utilização [6]. Paralelamente, o aumento do poder computacional necessário ao processamento crescente e complexo de dados, constituindo-se como uma das alavancas tecnológicas da I4.0 [6]. A terceira alavanca tecnológica é referente à digitalização e *networking* [6]. A digitalização diz respeito á capacidade de representar digitalmente componentes e processos, que associado ao *networking*, suportado na computação e miniaturização, permite que os componentes estejam conectados ao longo das diversas cadeias de valor integrando e/ou fornecendo serviços digitais [6].

São de seguida apresentadas as tecnologias centrais e que materializam a par de uma cultura digital, a I4.0.

## **2.6. As Tecnologias Fundamentais da Indústria 4.0**

A I4.0 tem como objetivos fundamentais tornar os sistemas produtivos mais flexíveis, otimizados, ajustáveis e colaborativos [6], suportando-se em tecnologias centrais á digitalização e fusão do ecossistema físico com o ecossistema virtual. As tecnologias de informação e comunicação (TIC) [10] assumem um papel aglutinante, conectando os meios produtivos organizacionais ao longo das cadeias de valor [22, 42].

Com a introdução de sensores embebidos nos objetos e a portabilidade de capacidades de conectividade como sensores *wireless*, RFID ou *Bluetooth* [20], os objetos têm a capacidade de comunicarem entre si, com humanos, estendendo-se a sistemas de informação e serviços de internet que propagam a informação além das fronteiras organizacionais [17]. A capacidade de os objetos estarem ligados à internet, permite uma comunicação transversal à organização criando uma digitalização do ecossistema físico [26]. A integração de sensores, *softwares* e tecnologias de comunicação são elementos necessários à Internet das coisas, *Internet of Things* (IoT) [17]. Enquanto que na era industrial anterior os sistemas de informação estavam ligados a processos na I4.0 estão ligados diretamente aos produtos e aos objetos [42]. Paralelamente, a Internet dos Serviços IoS, permite que as organizações ofereçam os seus serviços aos ecossistemas circundantes através da Internet [17]. O facto de os objetos estarem ligados à internet e disponibilizarem informação faz com que os mesmos sejam uma forma de serviço [25].

A vastidão de dados gerados ao longo das cadeias de valor é guardada na *cloud*, contruída sobre serviços dedicados de gestão e partilha de dados, em plataformas que se estendem para além das fronteiras físicas das organizações [17], conectando-as com o ecossistema circundante [20, 42]. A massificação dos dados é desconstruída e centralizada na *Big Data*, preparando e transformando os dados [20], garantindo uma integração sistémica da informação de vários formatos de diferentes origens [3].

Na indústria 4.0, à medida que *softwares* e inteligência artificial são integrados nos objetos e sistemas, serviços de previsão de falhas, análise de falhas e algoritmos de otimização gerem autonomamente produtos e serviços [17]. É neste sentido que a *Big Data* é central ao tratamento e relacionamento de dados e a *cloud* como plataforma de integração de serviços que gerem esses dados [17].

A virtualização do ecossistema físico é suportada através da realidade virtual e realidade aumentada, permitindo ter uma visão e previsão do comportamento do sistema, em condições próximas das reais ou numa configuração hipotética, suportando a capacidade de decisão [26]. A realidade aumentada incorpora informação nas tarefas a realizar suportando a performance operacional dos seus atores [26].

No centro da capacidade produtiva está a automação, a robotização colaborativa e a autonomia conferindo às organizações autonomia e rápida reconfiguração [26].

A integração das tecnologias descritas com sistemas de informação cria os denominados *Cyber Physical Systems* (CPS) constituindo a fusão entre o mundo físico e virtual [20]. Os CPS permitem a ação, o condicionamento do mundo físico em função da interpretação virtual do mesmo constituindo-se como a ponte entre o *Digital Twin* e o ecossistema físico [27]. O *Digital Twin* é a interpretação, virtualização e descrição do mundo físico, abrangendo processos, componentes, máquinas ao longo dos seus ciclos de vida [28]. A construção de um *Digital Twin* é um dos desafios centrais da I4.0 na medida em que não existe uma única fonte de verdade organizacional estando os dados distribuídos por bases de dados individualizadas e isoladas [29].

Subjacente a todas as integrações informacionais e partilhas de informação entre estruturas e sistemas virtuais, a *cybersegurança* deve ser encarada de forma local e global [26], com capacidades de identificação e gestão de risco [29].

As tecnologias apresentadas anteriormente têm o objetivo de, migrar os produtos, máquinas e instalações dos atuais sistemas de produção para produtos, máquinas e

instalações conectadas, digitalizando-os para a construção de uma representação virtual, partilhando dados centrais à sua gestão [2].

É de referir que não foi realizada uma revisão bibliográfica dedicada a cada agente tecnológico que materializa a I4.0, tendo sido, contudo, destacados os agentes tecnológicos IoT, CPS, *cloud* e BD dado o seu papel central na construção da realidade digital da I4.0. Não obstante, os agentes tecnológicos TIC, Realidade aumentada, Simulação e Cybersegurança têm o seu estudo assente num número inferior de bibliografias dada a sua menor preponderância para a construção do atual modelo.

### **2.6.1. Tecnologias de informação e comunicação TIC**

As tecnologias de comunicação e informação TIC são o elemento primário e fundamental para a I4.0.

O objetivo das TIC é criar uma rede flexível e fiável de comunicação entre os ativos que compõem uma organização criando uma infraestrutura de partilha de dados em tempo real [29]. Todos os elementos da cadeia de valor podem partilhar informação de forma contínua e autónoma, criando uma cooperação próxima entre os seus intervenientes [29]. A extensão global das TIC, conectando ativos do chão de fábrica com sistemas de informação, permitem criar a estrutura principal de controlo e monitorização em tempo real das operações de forma flexível e fiável [29]. As TIC são a estrutura que sustenta o *Digital Twin* no mundo físico. É o elemento agregador das tecnologias que compõem a I4.0. As tecnologias de comunicação devem criar uma rede bidirecional, interoperável segura e flexível de intercâmbio de informação [29].

No que respeita às categorias da transmissão de dados, as categorias WAN, NAN e HAN são as mais comumente aplicadas [29]. No que respeita ao modo de o fazer, a transmissão de dados através de cablagem, Wireless e fibra ótica têm a sua aplicabilidade estendida às mais diversas aplicações.

As características quantitativas fundamentais das TIC são a latência, largura de banda, taxa de dados e fiabilidade [29]. As características qualitativas são formadas pela validade dos dados, acessibilidade, interoperabilidade e segurança. Destaque-se as características da taxa de dados ou *data streams* dada a quantidade de objetos conectados na rede digital.

A taxa de dados refere-se a uma sequência de objetos de dados, caracterizada por uma chegada contínua ou desordenada de dados, um potencial volume de dados em trânsito não dimensionável e, uma recepção de dados repetitiva mesmo após o seu processamento [30]. Técnicas de *query processing* e *stream mining* permitem otimizar os *data streams* [30]. A otimização dos modos de comunicação dos sensores é central à gestão otimizada dos seus consumos energéticos.

### **2.6.2. A Internet das Coisas - IoT**

A Internet das coisas consiste num grupo de infraestruturas que permite interligar objetos e dispositivos conectados e conectáveis, permitindo a sua gestão, o acesso aos dados gerados, interpretação de dados, recorrendo a sensores e atuadores que interagem com o meio envolvente e, que possuem características de comunicação tanto com os demais equipamentos como com os diversos sistemas e softwares [15, 31]. Com recurso a capacidades de comunicação e computação e, capacidades de sensibilidade e atuação, os objetos monitorizam os processos que integram, partilhando dados com outros dispositivos ou com softwares através da internet [15, 31].

Além da recolha de dados local, os dispositivos munidos de tecnologias IoT recolhem dados nos diversos dispositivos a que estão conectados [15, 31] processando-os e interpretando-os localmente (evitando limitações de latência, processamento, memória através da *edge computing* [15]), ou na *cloud* através de serviços dedicados [31].

No que respeita a interação com o humano, interfaces de interpretação, troca e configuração são um requisito [15].

O conceito de objeto requer de uma reinterpretação no contexto da I4.0 já que graças à IoT, os objetos recolhem dados, partilhando-os para a rede que integram, constituindo-se como nós da rede de informação, estabelecendo comunicações e cooperando de forma a construir uma rede social de objetos [15]. A IoT é deste modo um dos elementos centrais à integração do mundo físico com o mundo virtual [15] nuclear à I4.0 [5, 26, 32]. Diversos dispositivos e equipamentos conectados através das IoT, como sensores, veículos ou máquinas, constroem os Sistemas Físico Digitais (CPS) apresentados no ponto 2.3.11. A relação e sobreposição conceptual entre a IoT e os CPS constitui-se como um desafio à definição e interpretação conceptual destes dois grupos tecnológicos.

## Taxonomia da IoT

Dada a centralidade da IoT na transformação digital da I4.0, constituindo-se como um dos agentes centrais à integração do mundo físico e digital, o presente subcapítulo dedica-se à análise e classificação das competências das IoT no que respeita a gestão de dados, a qualidade e interoperabilidade dos mesmos.

Sendo a informação a matéria-prima da I4.0, as competências da IoT na gestão e manipulação da informação são um estudo de carácter necessário e indissociável ao seu estudo.

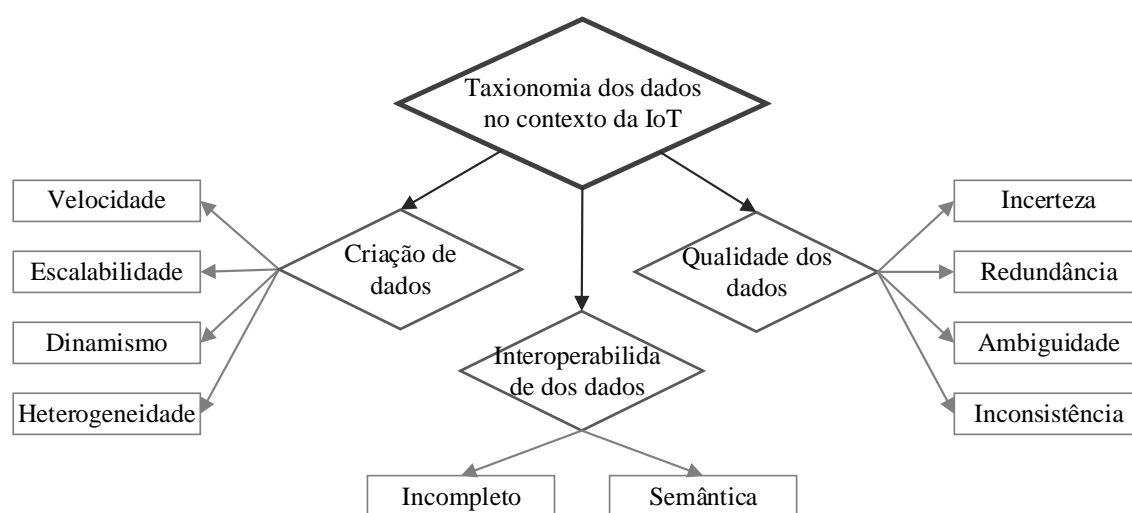


Figura 2 – Taxionomia de dados da IoT [30].

A criação de dados, figura 2 está fragmentada em 4 características principais que a classificam, a velocidade, escalabilidade, dinamismo e heterogeneidade. A velocidade de criação e partilha de dados pelas tecnologias IoT variam mediante as necessidades e capacidades tecnológicas [30]. A capacidade de *scan* e partilha de elevados volumes de dados requer também de elevadas capacidades de processamento desses mesmos dados [30]. Por seu turno, capacidades reduzidas de produção de dados podem conduzir a *lags* de resposta, perda de informação e ineficiência das ferramentas de suporte à decisão [30].

A introdução de cada vez mais dispositivos IoT faz com que o volume de dados gerados assumam uma escalabilidade crescente, constituindo-se como um dos desafios centrais à I4.0 [30].

O facto de dispositivos móveis serem portadores de tecnologias IoT, faz com que dados sejam gerados de diferentes localizações, com diferentes interpretações do meio que os circunda. Contudo este dinamismo dos objetos na caracterização digital do meio físico não é o único fator para redes dinâmicas de trocas de dados, a intermitência de

partilha de dados por questões de conectividade conduz a dinamismos no processamento dos mesmos [30].

A heterogeneidade é uma consequência da introdução de capacidades de comunicação e partilha de dados pelos diversos dispositivos [30]. Cada vez mais dispositivos geram dados, dados estes que são gerados num número variado de formatos, formatos estes que são ajustados a condições específicas de uma determinada aplicação [30].

No que concerne à qualidade dos dados gerados, a incerteza, a ambiguidade, redundância e a inconsistência, figura 2, requerem de uma classificação contextual de forma a que se construa o seu entendimento. A incerteza pode advir de diversas fontes das tecnologias IoT [30]. Assuma-se o caso da leitura de dispositivos RFID em que um certo nível incerteza está associado à reprodutibilidade e precisão de sensores e atuadores que incorporam [30].

A existência de um número maior de dispositivo conectados pelas IoT conduz a que o mesmo parâmetro do meio físico possa ser medido mais vezes, conduzindo a uma redundância dos dados gerados [30].

A ambiguidade é considerada uma condição inevitável nas tecnologias IoT [30]. Os dados gerados podem ser interpretados de diferentes formas mediante especificidades e necessidades particulares de dispositivos e consumidores de dados [30]. Dados gerados por dispositivos de uma área em particular podem também ser interessantes para dispositivos de uma qualquer outra área distinta, sendo um desafio para os segundos a capacidade de analisarem e interpretarem dados dos primeiros que não estão direccionados para o seu contexto [30].

As fontes de inconsistência advêm da falha de leitura de dados por parte de sensores ou da falha de transmissão de pacotes de dados de sensores para outros dispositivos ou sistemas [30].

A necessidade de interpretação de dados e contextos por parte de dispositivos conduz à necessidade de introduzir semântica nos dados, tornando os dispositivos autónomos na interpretação exata e coerente da realidade que os dados refletem [30].

Em última instância, a interoperabilidade dos dados está suportada na semântica e na *incompleteness*, figura 2 [30]. A *incompleteness* é referente à capacidade de endereçar a fonte de dados correta de forma a extrair da mesma os dados em falta para a execução e processamento de uma determinada tarefa [30].

### ***Constituição tecnológica da IoT***

Do ponto de vista da conectividade, a IoT significa em qualquer lugar, em qualquer instante para qualquer pessoa ou dispositivo [30]. No que se refere ao ponto de vista da comunicação, a IoT consiste numa rede conectada, global de dispositivos endereçados individualmente e baseados em protocolos standards de comunicação [30]. Em última instância, da perspectiva do *networking*, a IoT é a transição da rede interconectada de computadores para a rede interconectada de objetos [30].

A IoT como grupo tecnológico fundamental composta por elementos de conectividade, capacidades gráficas, I/O, unidades de processamento de dados, figura 3 que asseguram o controlo, monitorização e ajustabilidade das cadeias de valor através da recolha em tempo real de dados, conectando peças, componentes, máquinas, pessoas e serviços [20]. Estes elementos permitem conectar dispositivos munidos de tecnologias IoT com plataformas *cloud*, criando serviços através da internet [33]. Estes serviços entre a *cloud* e as IoT's são elementos centrais como “possibilitadores” de outros serviços [30, 31].

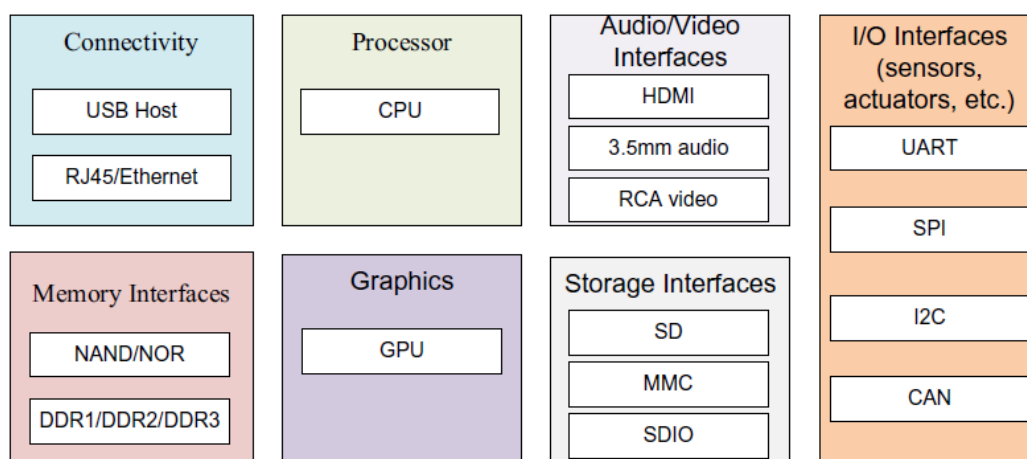


Figura 3 – Componentes das IoT [31].

A interoperabilidade na transmissão de dados entre diferentes ativos é um dos pilares da IoT, em qualquer instante, em qualquer meio, em qualquer localização, tanto para organizações como para utilizadores [33]. As tecnologias que incorporam as IoT de forma global são sensores conectados, atuadores conectados, sistemas computacionais de monitorização, tecnologias cabeladas, *wireless sensor network*, *middleware*, computação na *cloud* (CC), *software defined networking*, RFID, semântica na *WEB*, *wifi*, *WiMax* e serviços de localização [26]. É de referir a importância dos sensores na medida em que

são a interface e o limiar entre o mundo físico e virtual, não só por medirem variáveis de interesse, mas também por analisarem dados importantes [34]. No que respeita as tecnologias *wireless*, é de referir a importância dos standards de comunicação como IEEE802.15.4, 6LoWPAN, CoAP, WirelessHART, ISA100.11 ou 6LoWPAN [34]. Dada a panóplia de standards de comunicação, é de mencionar que a padronização e segurança face à heterogeneidade tanto de standards de comunicação como de formatos de dados, provenientes dos diversos serviços que compõem a I4.0 e geridos por vendedores ou *developers* com padrões de segurança distintos é um dos desafios centrais à IoT [16].

A IoT é composta por quatro camadas funcionais [26]. A camada sensítiva (dedicada à quantificação do meio físico), camada de rede (transporte de dados da camada sensítiva para os serviços), camada de serviço (aplicações e serviços para os utilizadores) e camada de interface (informação interpretável ao utilizador) [26]. As aplicações na camada de interface integram os módulos de controlo, monitorização para que os utilizadores visualizem e analisem estados de funcionamento dos dispositivos [31]

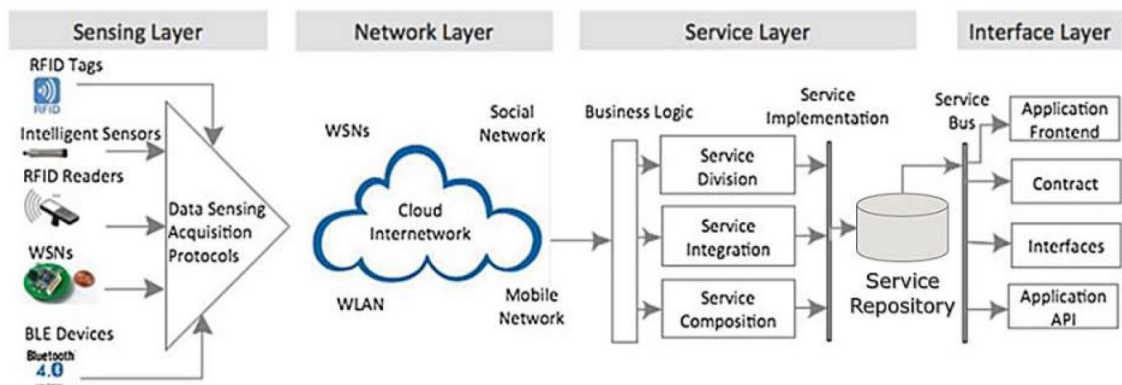


Figura 4 – Camadas da IOT numa arquitetura orientada para Serviços [26].

O funcionamento das tecnologias IoT apresenta um conjunto de características centrais ao seu funcionamento. Capacidades dinâmicas de auto ajuste são centrais para uma adaptação continuada e imediata às alterações do meio permitindo que os dispositivos sejam *context-aware* [31]. A capacidade de autoconfiguração permite que diversos dispositivos em comunicação se ajustem mutuamente tal como a rede que integram [31]. A integração dos dispositivos com os sistemas e aplicativos de informação capacita a troca de informação com outros dispositivos ou sistemas tanto internos como externos suportando as necessidades de pesquisa de dispositivos, tornando a globalidade

do sistema mais inteligente dado que recolhe as capacidades individuais de cada dispositivo e uma colaboração na operação e decisão coletiva [31].

Inerente às capacidades de transmissão, a utilização de formatos e standards de dados e protocolos de comunicação são uma necessidade central [29, 31]. Standards como BITXml, EDDL, FDT/DTM e OPC são amplamente utilizados [29]. Relativamente aos protocolos de comunicação, formatos HTTP e HTTPS garantem a partilha de dados entre serviços WEB [29]. Ao nível industrial, protocolos Profibus e Profinet assumem um papel preponderante [29].

Ao nível dos desafios, a capacidade de garantir a manutenção dos dispositivos de conectividade, a monitorização da sua performance, a localização dos mesmos carece de desenvolvimentos [29], mecanismos de pesquisa e descoberta de dispositivos [41]. A necessidade de criar serviços de confrontação de dados de interesse a partilhar e pesquisar é um requisito necessário e por construir para as redes autónomas baseadas nas IoT [41]. Ao nível dos desafios conceptuais não existe uma arquitetura de desenvolvimento de dispositivos IoT definida tal como qual deve ser a arquitetura de componentes que constituem estes dispositivos ou, a forma como a performance deve ser medida definindo-se como um desafio à sua implementação ou estudo [34].

### ***Edge computing***

Dadas as necessidades de processamento de elevado volume de dados, de os interpretar e analisar em tempo real, a *Edge Computing* (EC) permite o processamento local de dados em múltiplos pontos ou nós da rede reduzindo o tráfego de dados e o nível de latências para sistemas centralizados na *cloud* [16, 35]. A IoT introduz um número praticamente infinito de nós e terminais nas redes, constituindo-se como um desafio à centralização e processamento singular, numa única base de dados [35]. Deste modo, a EC introduz capacidades computacionais nos extremos da rede conectada de dispositivos e sistemas nos terminais onde os dados são gerados [35]. Dispositivos com capacidades computacionais são também definidos como *Edge Devices*.

A EC é formada por tecnologias tradicionais, *peer-to-peer*, distribuição de dados, *self-healing* e tecnologias de rede [35]. O recurso a hardware embebido de pequenas dimensões com dispositivos de armazenamento de *flash-array* permitem elevadas performance com consumos energéticos reduzidos [35]. O consumo de energia para as tarefas de comunicação de sensores *wireless* é superior face a tarefas de deteção [30].

Deste modo, se os sensores enviarem o volume de dados gerados sem qualquer tratamento, os consumos energéticos condicionam grandemente a performance das suas baterias [30]. Técnicas de processamento de dados, modelação e *querying* devem ser executados localmente [30].

A EC permite otimizar a alocação de recursos na CC, libertando-os para operações de maior complexidade ou volume, reduzindo conjuntamente o tráfego de dados e o risco de *bottlenecks* e, tratando previamente os dados para os serviços e sistemas de análise e estruturação [35]. Através da EC a segurança é aumentada já que os dados são encriptados na origem dos canais de comunicação [35]. As vantagens das estruturas de EC estendem-se à sua escalabilidade e capacidades de *local awareness* [16].

### ***Rede conectada de objetos através da IoT***

A construção de uma rede conectada de dispositivos carece de capacidades de pesquisa autónoma por entre uma infinidade de objetos, identificando os relevantes, partilhando e extraindo os dados pertinentes entre si [30]. Por si só esta condição é um desafio à implementação das tecnologias IoT [30].

A introdução de técnicas de pesquisa de dispositivos e objetos é distinta das técnicas de pesquisa WEB dado que os objetos estão afetos a um contexto informacional [30]. Técnicas de semântica web, pesquisa web, pesquisa por palavras chave e pesquisa colaborativa suporta a pesquisa de dispositivos [30].

A semântica web objetiva a padronização de como a informação semântica é armazenada e trocada permitindo às máquinas, dispositivos e objetos interpretarem os dados [30]. A pesquisa WEB está fracionada em técnicas de pesquisa em tempo real, pesquisa de informação através dos dados RDF, e pesquisa WEB colaborativa [30].

### ***2.6.3. Cloud***

As tecnologias *cloud* sustentadas no conceito de substituição de recursos por serviços [29, 36]. Abstração dos recursos físicos, serviços autoajustáveis, robustez da informação e virtualização, são objetivos centrais da *cloud* [26]

Os serviços *cloud* estendem-se a todas as áreas organizacionais virtualizando hardware, capacidades computacionais e de armazenamento através da internet segundo uma filosofia *self-service*, [23] fornecendo funcionalidades específicas escaláveis à

medida das necessidades [29]. Oferecem elevada flexibilidade e ajustabilidade dos serviços às necessidades particulares aquando da sua necessidade, em qualquer instante em qualquer localização [26] estando as suas estruturas de partilha de dados estendidas além das fronteiras das organizações através de plataformas online [17]. As plataformas *cloud* permitem integrar serviços e plataformas que se estendem além das fronteiras da organização abrangendo serviços de partilha de dados entre os diversos intervenientes das cadeias de valor [17, 42].

### **Capacidades digitais como serviços cloud**

A *cloud* permite deste modo fornecer e distribuir serviços como serviços *cloud* [26], softwares como serviços (SaaS), Plataformas de desenvolvimento e integração como serviços (PaaS) e Infraestruturas como serviços (IaaS) [23, 26, 29].

As IaaS providenciam aos seus usuários os recursos fundamentais de computação, armazenamento, redes de comunicação e, requisitos e arquiteturas específicos [29]. As PaaS permitem aos programadores o desenvolvimento e execução de aplicações usando linguagens de programação [26], sem a responsabilidade de gerirem as infraestruturas subjacentes [23, 26, 29]. No que respeita aos SaaS, softwares e aplicações locais são substituídos por serviços centralizados na *cloud*, acessíveis aos utilizadores através de motores web [26, 29]. São os operadores e fornecedores dos SaaS que têm a responsabilidade de manter, controlar, atualizar e garantir as condições de segurança dos mesmos [29]. No que respeita às tipologias de acesso, as *cloud's* podem ser públicas, privadas, híbridas e comunitárias [23, 26, 29].

### **A *cloud* Manufacturing – A *cloud* no âmbito Industrial**

A *Cloud Manufacturing* (CM) é a computação na *cloud* no âmbito industrial [23, 26], tendo o objetivo de proporcionar um serviço industrial global [23].

Os serviços que sustentam a CM permitem aos utilizadores, dimensionarem e adaptarem serviços para todas as fases do ciclo de vida de produtos e serviços, desde o design, produção e gestão [26]. É, portanto, uma arquitetura orientada para serviços SOA, em que os sistemas de produção são pensados como conjuntos de serviços interligados [26], estruturados em plataformas IoS, dedicados aos utilizadores nos extremos das interações [17]. Nesta estrutura SOA os consumidores dos serviços *cloud* podem personalizar, configurar e seleccionar recursos e serviços de produção de serviços que

variam desde plataformas *Computer aided Engineering* (CAE) a sistemas de produção configuráveis [12].

A CM é composta por três elementos centrais, os fornecedores, os operadores e os consumidores [26, 29] dos serviços *cloud*.

### **Edge Computing, Fog Computing e Cloud Computing**

A manipulação de um elevado volume de dados conduz as organizações à descentralização das capacidades computacionais através da EC, CC e *Fog Computing* (FC) [35]. Estas estruturas permitem construir uma estrutura computacional variada tanto para a computação como para o armazenamento de dados [35].

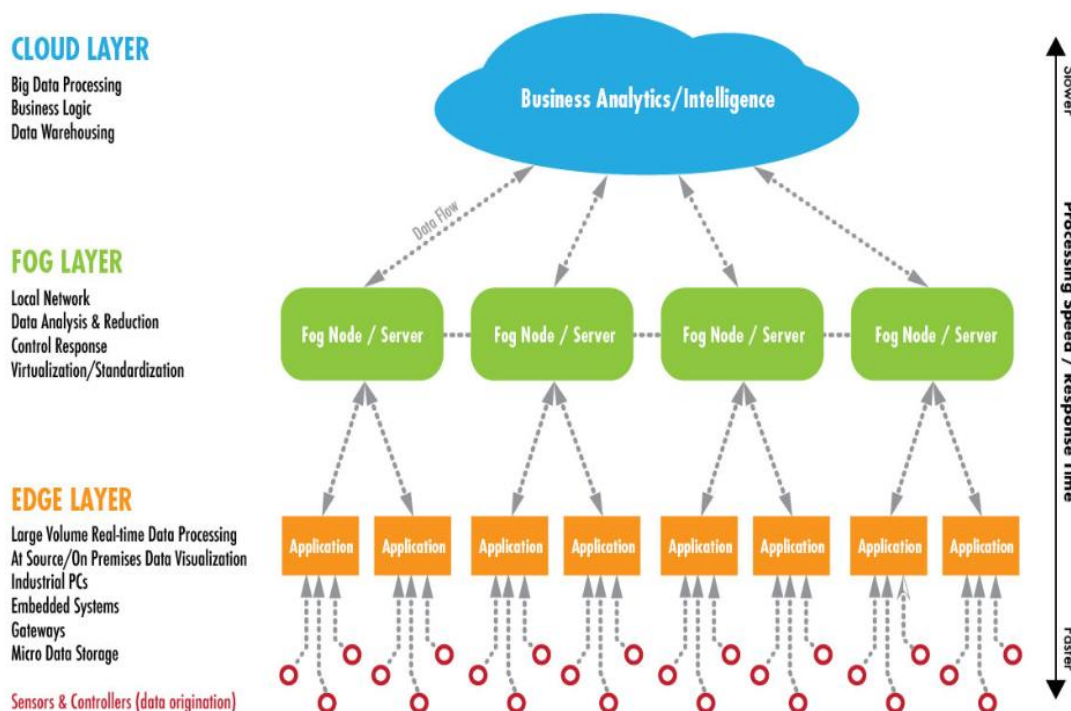


Figura 5 – Estruturas de processamento de dados centrais à IoT [35].

A EC e a FC são extensões das redes *cloud*, em que os servidores estão distribuídos ao longo da rede, conferindo às organizações elevada flexibilidade e escalabilidade da estrutura conectada [35]. As estruturas das redes *cloud* permitem a recolha de diversos dispositivos, sistemas e *sites* acessíveis desde a internet [35].

Dispositivos embebidos através de tecnologias IoT recolhem os dados do ecossistema físico, transpondo-os à FC em que uma triagem define a pertinência dos dados e quais devem ser passados à camada da CC [35]. Deste modo a CC dedica-se principalmente à computação de dados de elevada prioridade como o processamento de

algoritmos de análise, previsão ou controlo do negócio que envolvem elevado volume de dados de diversas fontes [35].

A EC e FC introduzem capacidades de processamento e inteligência nos pontos onde os dados são gerados [35]. A grande diferença entre ambas é referente à localização e ao poder computacional que as caracterizam [35]. A FC tem o seu poder computacional localizado na rede LAN [35]. A EC tem o seu poder computacional alojado em dispositivos através de sistemas e controladores embebidos [35]. Estas estruturas são determinantes para as necessidades de colaboração máquina-máquina e para as necessidades dos operadores das mesmas, otimizando o sistema global de distribuição e processamento de dados [35].

#### **2.6.4. A internet dos serviços - IoS**

A comunicação entre ativos e serviços de internet permite uma conectividade que se estende ao ecossistema envolvente à organização.

Combinadamente com a IoT, o nível de conectividade estende-se tanto ao chão de fábrica como a entidades das cadeias de valor externas à organização. Deste modo, a transferência de paradigma de recursos físicos para serviços online torna-se uma realidade, transcendente ao âmbito industrial [26], recorrendo à IoS [29]. Combinadamente com a IoT e plataformas *cloud*, a IoS converge da necessidade de possuir bens e recursos físicos em serviços, serviços estes que são disponibilizados através da Internet [29]. Uma máquina ligada à Internet partilhando informação com os sistemas de informação a que está conectada através das IoT, é por si mesmo um serviço de informação prestado pela máquina que é disponibilizado através dos IoS. Desde softwares, plataformas de computação, softwares de integração de diferentes protocolos de comunicação, plataformas de armazenamento de dados a aplicativos e ambientes de desenvolvimento de programação [29]. As estruturas tecnológicas da *cloud* são a infraestrutura central da IoS que permite ligar os diversos elementos das cadeias de valor [17, 29]. As necessidades de acessibilidade e interoperabilidade na troca de dados é conseguida através do uso de protocolos de Internet como HTTP, *Simple Object Access Protocol*, XML, *Uniform Resource Identifier* [29].

A IoS oferece serviços tanto internos como externos à organização assegurando funcionalidades *cross-organizational* que utilizados por os elementos das cadeias de valor

asseguram a integração dos mesmos [17]. A IoS permite às organizações fornecerem tecnologias especiais de produção que podem ser utilizadas na produção e controlo dos produtos físicos [17].

No que respeita o suporte às tecnologias IoT, a IoS integra diversos serviços de modelação de dispositivos, controlo, publicação de dados, descoberta de dispositivos e análise de dados que podem estar alojados em plataformas *cloud* [31].

### **2.6.5. Big Data**

O aumento da intensidade de dados nas cadeias de valor, assentes nas capacidades sensoriais e de conectividade através da IoT [14], abrangendo a heterogeneidade de ativos, conduz a um aumento do volume, diversidade e do nível de estruturação que os caracterizam [14, 29]. Esta “massa” de dados é denominada de *Big Data* (BD) [26, 29].

Outro aspeto que vai de encontro ao crescimento da BD é o crescimento da customização de produtos e serviços [20], que conduz à necessidade de gerir um maior número de especificidades e critérios únicos. A necessidade de gerar com precisão e rapidez esta informação de forma a ter dados concretos e precisos, em tempo real [29], conduzem à necessidade de aplicar algoritmos e técnicas de análise num modelo de dados comum [20, 23].

Os dados gerados ao longo do ciclo de vida dos produtos e serviços são armazenados na BD, proporcionando a capacidade de decidir através de dados concretos, resolução de problemas e análise internas e extra organizacionais [26]. A BD como elemento da I4.0 pertencente ao *Digital Twin* [28] e é uma das fundações para a Internet industrial, estruturando e analisando os dados provenientes das IoT [15].

Ao nível das suas competências funcionais a BD é construída por blocos de dados processados a alta velocidade e técnicas avançadas de requisição de dados que permitem a captura, armazenamento, distribuição, gestão e análise da informação [26]. A BD difere dos sistemas tradicionais de armazenamento e tratamento de dados em três dimensões centrais, velocidade, variedade e volume de dados, definidos como os 3 V's [26]. As competências centrais à BD são a veracidade, visão, volatilidade, verificação, validação, variabilidade e valor no tratamento de dados [17, 26, 29].

O reconhecimento de padrões é conseguido através de métodos avançados de análise [29].

Os serviços *Cloud* de análise e inteligência artificial operam em tempo real na extração e construção de conhecimento permitindo a compreensão da envolvimento [26].

Condições de semântica e ontologia são necessárias à construção de conhecimento e relações entre dados [29]. Dados estruturados provêm de códigos QR, etiquetas RFID e controladores [29]. Dados semiestruturados provêm de Websites ao passo que os não estruturados provêm de ativos como máquinas [29]. Ferramentas de triagem e limpeza permitem a integração de dados não estruturados de forma ordenada [26]. A BD como elemento absorvente de dados e a *cloud* como infraestrutura de computação, armazenamento e distribuição desses mesmos dados [26].

### **Capacidades de Aprendizagem**

As capacidades de aprendizagem de dispositivos permitem a detecção e classificação de padrões, sistemas de monitorização de estados, detecção de falhas e previsão dos modos e condições futuras de operação [16]. Métodos de relacionamento de variáveis de operação são suportados por algoritmos e redes neurais [16].

Os sistemas complexos de processamento permitem identificar padrões e compreender o comportamento dos meios físico e digital [30]. Além da detecção de padrões, estes sistemas complexos são também capazes de classificar o nível de interesse de um determinado evento para o sistema na construção de conhecimento [30]. As técnicas de interpretação estendem-se ao processamento complexo dos eventos de uma perspectiva semântica [30]. O processamento complexo de eventos pode ser melhorado através de modelos semânticos através do uso de meta dados em conjugação com regras baseados em conhecimento (*knowledge base*) da envolvimento [30].

### **2.6.6. Simulação**

Dada a complexidade dos processos e da necessidade de gerir um compêndio de parâmetros e variáveis cada vez mais amplo, a utilização de ferramentas e tecnologias de simulação torna-se relevante à compreensão de dinâmicas e modos de funcionamento das diferentes áreas da organização [26].

Nas últimas décadas a simulação tem tido um papel preponderante na avaliação e modelação de designs e conceitos tal como no dimensionamento de layouts de fábricas, fluxos de processos, manipulação de materiais e ergonomia [26].

Os desafios indústrias podem ser enfrentados recorrendo a esta tecnologia, lidando com a complexidade dos sistemas e com problemas cujo grau de incerteza não pode ser resolvido usando métodos matemáticos usuais [26]. A simulação permite a realização de experiências para pré-validação de processos, produtos, conceitos e configurações. Permite estimar e interpretar o sistema modelado ou processos através da análise do comportamento dos mesmos, estudar a complexidade de produtos, testar novos conceitos antes da sua implementação não interferindo com o sistema atual real em funcionamento [26].

A simulação é definida como uma operação de imitação, ao longo do tempo de um sistema ou de um processo real [26]. É construída sobre os dados e históricos digitais do sistema, desenhando interfaces entre as características operacionais do sistema real [26]. O modelo de simulação pode ser definido como uma entidade representativa, abstrata e simplificada, usada para representar outra entidade com um propósito definido [26].

O volume de dados crescente oriundo da escalabilidade do número de objetos e dispositivos conectados através das IoT, constitui-se como um dos maiores desafios à *Big Data*, não só no armazenamento, mas também no processamento dos dados [30].

### **2.6.7. Realidade Aumentada**

O objetivo final da Realidade Aumentada (RA) é o de aumentar as capacidades humanas na realização de tarefas, disponibilizando a informação certa para cada ação, no instante certo [26]. Esta tecnologia estende-se dos óculos com realidade aumentada a HMI's [26]. Ao nível industrial, esta tecnologia tem vindo a ser aplicada ao nível da simulação, design, manutenção, assistentes de tomada de decisão e realização de tarefas de montagem e controlo [26]. Ao nível da manutenção, a capacidade de auxiliar em serviços de inspeção e verificação através da projeção de instruções, manuais e comprovações definindo onde e como fazer, que ferramentas utilizar e a sua sequência [26]. Ao nível das vendas a capacidade de experienciar demonstrações remotas e imersivas de serviços e produtos, publicidade aumentada, ao nível das operações a capacidade de identificar produtos, instruções de montagem e *setup's*, são exemplos práticos [26].

A RA é definida como a capacidade de combinar objetos reais e artefactos digitais no ambiente circundante real, alinhando-os simultaneamente e, em tempo real, interagindo em 2D/3D com o ambiente real circundante [26]. A RA interage com os sentidos dos utilizadores potenciando o foco na informação e representações digitais, constitui-se como uma tecnologia imersiva [26].

A escolha das ferramentas que integram esta tecnologia devem ser fundamentadas nas características do ambiente com o qual interagirão tendo em conta não só características técnicas, mas também de *cybersegurança* e conectividade [26].

A RA suporta-se em dois princípios, ecossistema envolvente processado digitalmente e, a adição de artefactos digitais que podem ser elementos 2D ou 3D [26]. Displays de projeção de imagens, *handheld*, *head worn*, hologramas e técnicas de retina são tecnologias que suportam a simulação [26].

### **2.6.8. Produção Aditiva**

Os processos de conceção e de desenvolvimento de produto podem ser auxiliados recorrendo às tecnologias que compõem a I4.0 como a realidade virtual e simulação [26]. O passo seguinte no ciclo de vida de um produto, o da produção é por vezes uma fase complexa e dispendiosa.

A Produção Aditiva (PA) é uma das ferramentas da I4.0 que mais flexibilidade insere nos fluxos produtivos e que irá substituir muitos dos processos de fabrico convencionais. A PA tem as suas origens nos processos de Estereolitografia tendo sofrido um forte desenvolvimento no início dos anos 80 [16]. A PA é também conhecida como prototipagem rápida, produção por camadas, produção digital ou impressão 3D [26].

A produção de peças no seu estado final ou com necessidade de trabalho posterior reduzido, diretamente dos desenhos CAD, constitui-se como o caminho mais curto entre o elemento digital e o elemento físico [16], promovendo a simplicidade, mas também a sustentabilidade gerando níveis de desperdício significativamente inferiores comparativamente às tecnologias tradicionais [13]. A construção de peças de elevada complexidade, associado a elevado grau de customização, peças ocas, diminuição da pegada ecológica maximizando em simultâneo a utilização do material aplicado no fabrico, são potencialidades conferidas pela PA [26]. Contudo, para produções de larga escala a PA é um processo limitado dado a sua baixa cadência produtiva [13].

### 2.6.9. Robôs Autônomos

O paradigma da produção atual é caracterizado pela customização em massa, que requer por parte das organizações tecnologias de rápida ajustabilidade processual, polivalência técnica, capacidade de aprendizagem e uma interação mais colaborativa com os humanos [26]. A customização em massa está construída sobre os conceitos de elevada variedade de produtos e lotes de quantidade = 1 [16]. Deste modo, para atingir esta flexibilidade, os Robôs e a automação assumem um papel central nos sistemas produtivos [26, 32].

Capacidades como computação, comunicação, controlo, autonomia e sociabilidade são fundamentais para os Robôs autônomos, conseguidas através de microprocessadores e inteligência artificial [26]. Defina-se autonomia como capacidades de autorregulação ou autogoverno a nível individual ou ao nível colaborativo entre diversos dispositivos ou sistemas [37]. No que respeita à autonomia em particular, capacidades de autoconfiguração, auto otimização, “auto cura” (*self healing*) e autoproteção são centrais [37].

A utilidade dos robôs é evidenciada nas diversas fases de ciclo de vida dos produtos, desde as fases de desenvolvimento, às fases de produção e montagem [26]. Os robôs totalmente autônomos fazem as suas próprias decisões de forma a realizarem diversas tarefas num ambiente em mudança constante sem interação dos operadores [26]. As capacidades de autoconfiguração tornam os dispositivos “conscientes” do seu estado de funcionamento tal como do que os rodeia, adaptando-se aos eventos emergentes [37].

Os algoritmos têm um papel central nas capacidades de auto ajustabilidade em que as barreiras e limitações definidas pelos humanos aquando do seu desenvolvimento e programação, definem o quão independentes e autônomos os sistemas são e o quão de forma autônoma, conseguem decidir e delegar ações [37].

A utilização de robôs estende-se à colaboração com humanos, que trabalham conjuntamente [16]. Os denominados *cobots*, desenhados para interagirem fisicamente com os humanos numa colaboração próxima, guiados/acionados diretamente “*by hand*”, com limites de segurança específicos, podem ser manuseados e aprender [26].

### 2.6.10. *Cyber-segurança*

A progressão da miniaturização e da capacidade sensorial levam a que as principais fontes de dados sejam objetos comuns e inanimados, dado o aumento exponencial de objetos conectados à internet [26].

As possibilidades de acessos não autorizados e falhas aumentam [29], representando pontos de vulnerabilidade no que respeita à segurança dos dados e das redes de comunicação [26]. Os sistemas de recolha de dados provenientes de dispositivos físicos, sistemas de informação ou serviços Web podem também conter ameaças [29]. Paralelamente, o desvanecer das “fronteiras” informacionais das organizações é também um ponto de vulnerabilidade [26].

Sendo a integração e a interoperabilidade entre os diversos elementos das cadeias de valor parte dos pilares centrais da I4.0 e a comunicação um dos seus agentes principais a construir entre os diversos objetos, há paralelamente, que assumir a mesma postura para a segurança de dados e redes [26]. A segurança das estruturas digitais é definida como *cyber-segurança* sendo assumida como uma prioridade para as três direções de integração da I4.0 [26]. A *cyber-segurança* vertical, desde os dispositivos IoT, robôs e sensores caracterizam o chão de fábrica, aos sistemas de informação que detêm os dados e os partilham com as entidades envolventes através da rede. A *cyber-segurança* horizontal entre os sistemas que interligam as organizações das cadeias de valor e, ao longo de todo o ciclo de vida, desde os dados e patrimónios intelectuais de desenvolvimento de produtos e serviços, aos dados da sua produção, consumo, utilização e reciclagem. Há que garantir a distribuição da informação correta, para a entidade certa, durante o instante certo segundo os padrões de segurança requeridos, criando uma rede interconectada de objetos que partilham informação em tempo real, estável, robusta e resiliente.

Conceitos como robustez, resiliência e estabilidade das redes de comunicação, são objetivos a atingir pelo cumprir de normas e adoção de métricas. Normas IEEE, ISA, NIPP ou IEC estão em curso de desenvolvimento para diversas áreas industriais, com requisitos específicos de forma a enfrentar as respectivas necessidades [26].

### 2.6.11. Sistemas Físico digitais – *Cyber Physical Systems*

A integração de tecnologias IoT proporciona a colaboração entre objetos e serviços *cloud* que através de robôs e atuadores agem sobre o meio físico. Tecnologias de realidade aumentada suportam os humanos nas suas tarefas, num sistema físico-digital em que o meio físico está descrito na representação digital corporizada na BD, interligando o mundo físico com o digital [15]. De um ponto de vista global, os CPS assentam em tecnologias de computação, informação e comunicação [12]. A integração conjunto do meio físico com o digital é materializada nos CPS [26]. A modelação computacional agregada às análises e projeções estatísticas do meio físico, através dos dados extraídos do mesmo em tempo real, permite modelar a resposta digital que em tempo real irá decidir e influenciar o meio físico [16]. Deste modo, é de referir a importância do volume, nível de representatividade e automatismo dos dados recolhidos e, da necessidade de tratar e prepara os dados provenientes das simulações e previsões nos sistemas críticos de decisão e análise [16]. Os CPS são na sua génese constituídos por uma multidisciplinariedade de métodos e tecnologias desde capacidades computacionais, *Big Data*, Cloud, IoT, IoS, IoP (*Internet of People*), simulação, robôs ou realidade aumentada [17], assentes em funcionalidades computacionais e físicas [26], figura 6. A construção da SF tem subjacente a unificação entre o mundo físico e o mundo virtual através dos CPS [17].

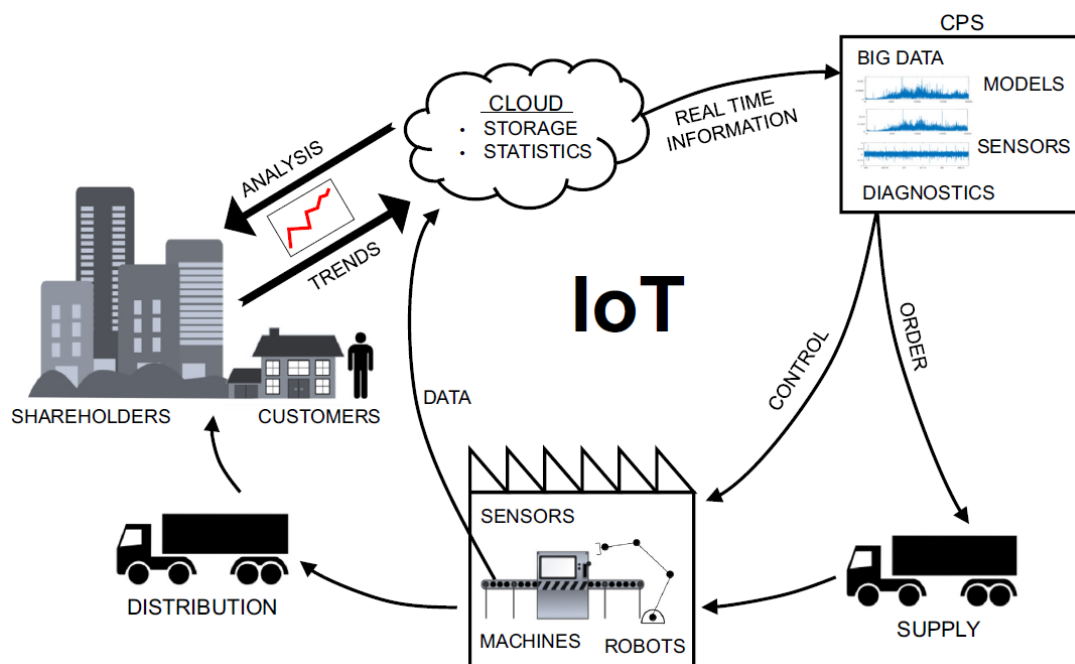


Figura 6 – A construção dos Sistemas Físico-digitais [16].

Os CPS são em si mesmo um dos objetivos centrais da I4.0, na construção de uma estrutura digital (*Digital Twin*) que interage e que está embebida com o meio físico (robôs, atuadores ou sensores conectados), conectada tanto a softwares, serviços WEB ou serviços *Cloud*.

Dada a abrangência dos CPS, a sua definição é um ponto de controvérsia no universo científico não existindo uma arquitetura aceita para os definir ou implementar [17, 21]. A globalidade dos CPS tem inerente a necessidade de integrabilidade global entre sistemas, softwares, serviços e elementos físicos [17, 29]. Paralelamente, a existência de sistemas embutidos é um fator chave para esta condição como sensores e softwares que integram os componentes físicos na representação digital dos sistemas produtivos [26, 29].

No contexto dos CPS os componentes digitais que compõem o *Digital Twin* interagem entre si, trocando informação, configurando o ecossistema físico através dos robôs e atuadores conectados [29].

A conectividade global dos sistemas nos CPS permite a IV e IH [1, 17]. A IH entre diversas SF é conseguida através da interação dos CPS que as compõem [17]. Dispõem de interfaces dedicadas para humanos no que respeita à sua operabilidade [29] conferido flexibilidade e interatividade na sua configuração e controlo. A integração de CPS confere à organização a capacidade de auto ajuste das operações (*self configure*), capacidades cognitivas (*cognition level*), representação digital da realidade física (*cyber level*), capacidade de conversão digital de parâmetros físicos (*conversion level*) e capacidades de conectividade através de Hardware de comunicação, sendo os CPS o palco no qual estas propriedades se materializam [1, 26]. A cooperação entre vários CPS cria os denominados *Cyber Physical Production Systems* (CPPS), que se estendem ao longo de diversos níveis produtivos, sendo centrais às SF [26].

## **2.7. Desafios centrais à I4.0**

A construção de uma rede digital de dispositivos conectados, de partilha de dados com um número crescentes de máquinas, sensores, sistemas e pessoas, representa um desafio às políticas de segurança e confiabilidade na preservação dos dados [29]. O aumento do volume de dados trocados e recolhidos por um elevado e heterogéneo número dispositivos e pessoas, podem conter um elevado número de vulnerabilidades conhecidas

e desconhecidas [29]. A descoberta de dispositivos e o facto de partilharem dados automaticamente entre si é uma condição importante nos limites de segurança e de privacidade [16, 23].

Os sistemas automáticos são responsáveis pela realização de tarefas e decisões nos sistemas I4.0 [14]. Deste modo, torna-se central definir e implementar sistemas robustos, fidedignos de controlo e avaliação ao longo de toda a organização [38].

No que respeita às métricas de controlo, a descentralização da informação, das capacidades de análise e decisão tornam a pirâmide clássica de controlo inapropriada às formas funcionais das organizações inseridas no contexto da I4.0 [22].

A necessidade de partilhar dados e conhecimento tanto internamente como externamente à organização, criando relações cooperantes focadas no valor tem como desafio a necessidade de alteração e adaptações culturais [17]. A partilha de informação nas cadeias de valor tem de assentar em relações de confiança entre os diversos intervenientes [19]. As pessoas serão elementos autónomos de decisão sendo necessário fomentar confiança, conhecimentos e competências de análise [6].

Dada a complexidade e importância das TIC no funcionamento dos sistemas I4.0 das organizações, as pessoas terão de ser munidas de conhecimentos das TIC, de redes de comunicação e das condições de *cyber-segurança* [18].

A interoperabilidade necessária ao funcionamento da I4.0 é por si só um desafio. A capacidade de diferentes sistemas e fontes de informação, de diferentes eras tecnológicas, trocarem dados de forma integrável e interpretável exige a criação, aceitação e implementação global de protocolos e *standards* de comunicação [16].

A rápida mutação do ecossistema envolvente, das suas necessidades, parceiros e prioridades e, da introdução de tecnologias inovadoras geram novos *Business Models*, requerendo elevada flexibilidade e adaptabilidade por parte das organizações [19].

A necessidade de contruir uma única fonte de verdade organizacional agregada à existência de bases de dados individualizadas e isoladas dos sistemas de partilha de dados são desafios centrais à I4.0 [39]. Além do descrito, existem várias operações afetas às áreas de logística, produção ou de serviços prestados em que a recolha dos dados é bastante limitada ou praticamente inexistente, em que os dados estão disponíveis para um conjunto restrito de pessoas, em que as barreiras dos sistemas proíbem o seu uso amplo e global [39]. Existe deste modo a necessidade de definir estratégias e processos para que dados essenciais sejam partilhados globalmente através da organização ou com os

diversos elementos das cadeias de valor de forma a criar uma organização flexível e com competências de aprendizagem [39].

### 3. Arquiteturas da I4.0

O desenvolvimento conceptual da I4.0 conduziu a necessidades de se estruturar as suas dimensões, direções e áreas de atuação tal como as capacidades conferidas às organizações e cadeias de valor através da adoção das tecnologias que a compõem. A implementação das tecnologias descritas no capítulo anterior e a adoção de uma cultura digital conferem à organização capacidades e características operacionais que devem ser relacionadas e posicionadas num modelo interpretativo e global. É fulcral compreender de que forma é que as tecnologias da I4.0 e capacidades conferidas pelas mesmas se posicionam face às direções de integração vertical, horizontal ao longo do ciclo de vida dos produtos construído uma representação global da I4.0.

Num contexto multifacetado, multiagente e em constante dinamismo e desenvolvimento como a I4.0, a definição de *standards* e métricas é central à convergência da complexidade em práticas e guias contextualizadas na realidade das organizações [36, 40]. A complexidade e dinamismos das organizações enquanto sistemas e fluxos de dados, conduzem à necessidade de assumir uma abordagem que seja transversal à tipologia da organização e que em simultâneo não seja limitado por condições específicas. Múltiplos modelos e arquiteturas têm sido desenvolvidos por entidades governamentais e entidades privadas com o objetivo de suportar a transição para a organização digital, definindo as regras, visões e métricas globais [36, 40].

Defina-se arquitetura como a descrição central de um modelo, das suas partes e da forma como se ligam e cooperam formando um sistema [36]. As arquiteturas são amplamente usadas para descrever estruturas, a forma como se relacionam com os diversos sistemas circundantes e a sua complexidade [36]. Diversas são as arquiteturas construídas no contexto da I4.0 provenientes de diversos organismos.

-*Intelligent Manufacturing System Architecture (IMSA)* [36].

-*Industrial Value Chain Reference Architecture (IVRA)* [36].

-*Smart Manufacturing ecosystem (SME)* [28].

-*Reference Architecture Model Industry 4.0 RAMI4.0* [22].

-*Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)* [40].

### **3.1. Arquiteturas definidas para estruturar o modelo Avaliativo**

Dada a globalidade da rede conectada de objetos e processos, duas arquiteturas têm sido destacadas como diretrizes de referência na conceptualização de organizações e cadeias de valor digitais, o IIRA e o RAMI4.0 [7]. O RAMI4.0 contempla a I4.0 de vários prismas, desde questões de mercado, de funcionalidades, informação, comunicação e integrabilidade entre componentes [22]. Ao nível da sua construção, o RAMI4.0 distribui-se ao longo das três direções da I4.0, a IV, a IH e a integração do ciclo de vida [18], consideradas centrais para edificar um ecossistema digital [7, 19, 42]. A arquitetura digital apresentada pelo RAMI4.0 foca a necessidade de construir ambientes digitais direcionados para o humano e a sua colaboração com sistemas e máquinas [18, 36]. Paralelamente a I4.0 assenta numa alteração de paradigma de gestão de produto para uma gestão do ciclo de vida [22]. O RAMI4.0 dedica um dos seus eixos à construção da digitalização do ciclo de vida de qualquer ativo organizacional ou pertencente ao ecossistema circundante numa forma sistémica e global.

No que respeita ao IIRA, a sua construção está assente em necessidades e preocupações táticas, estratégias e operacionais para a implementação da IoT em ambientes industriais [18], conduzindo a que esta arquitetura apresente uma abordagem globalizada [2], não se limitando por especificidades e situações arbitrárias [40].

O modelo avaliativo a construir no presente documento é estruturado pela integração do RAMI4.0 e do IIRA. Deste modo, é central a condição de interoperabilidade e integrabilidade entre as duas arquiteturas selecionadas de forma a definir uma estrutura homogénea e global, sem disrupções. O RAMI4.0 e o IIRA têm subjacentes um conjunto de condições que permitem o seu relacionamento e fusão desde a sua estrutura ao alinhamento conceptual [23]. A interoperabilidade entre os dois modelos é apresentada no capítulo 3.4.

### 3.2. RAMI4.0

O RAMI4.0 assume como propósito a construção de uma organização digital, flexível, reconfigurável e controlável [2]. Propõem-se a construir uma infraestrutura de produção flexível e que tenha a capacidade de responder às necessidades de clientes mesmo para lotes de produtos individualizados e customizados [2]. Fundamenta-se na necessidade de padronizar linguagens, semântica e sintaxe ao longo dos sistemas e ativos de forma a garantir a integração ao longo das três direções centrais da I4.0 [25].

Ao nível estrutural, o RAMI4.0 é construído sobre os ativos organizacionais e das cadeias de valor, desde produtos, máquinas, softwares, peças, conferindo-lhes competências de comunicação e colaboração através de padrões e protocolos de comunicação [23]. Os ativos digitalizados são denominados componentes I4.0 [22]. Estes componentes I4.0 são geridos pela denominada camada administrativa, *Administration Shell* (AS), que permite a digitalização e preparação para integração da informação dos ativos físicos no ecossistema digital, composto por bases de dados e sistemas de informação [3]. Esta informação é integrada até aos sistemas de controlo mais elevados como ERP's, MES, [8]. Quanto maior o nível de “penetração” dos dados digitalizados, maior o nível de integração digital [22].

O RAMI4.0 está estruturado em 6 camadas de digitalização que abrangem os ativos das cadeias de valor, tanto internos como externos, ao longo das suas diversas fases do ciclo de vida, figura 7. As seis camadas do eixo vertical caracterizam os níveis de integração digital da informação [22]. A informação progride digitalmente desde o ativo aos sistemas de informação que suportam as necessidades do negócio [18].

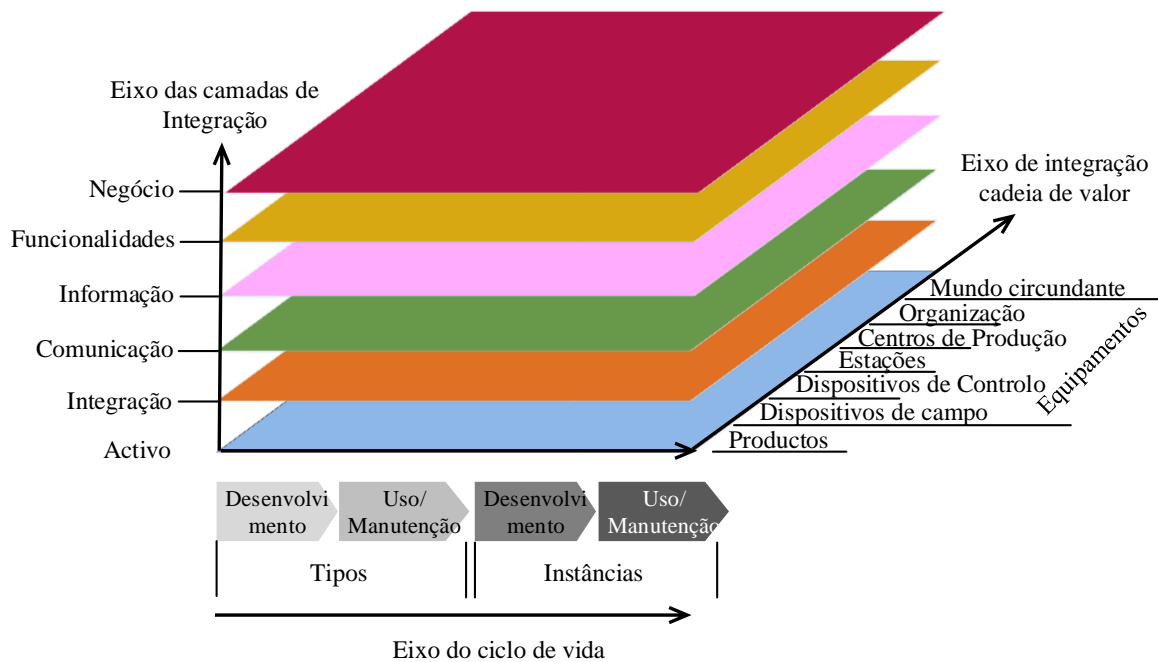


Figura 7 – Representação esquemática do RAMI4.0 [18].

O ciclo de vida do produto encontra-se na base do RAMI4.0, considerado como fator fundamental na engenharia do produto [22]. Este eixo abrangendo os diversos ativos organizacionais, sejam produtos ou máquinas, a documentos e instalações [18].

### 3.2.1. Eixo do ciclo de Vida do RAMI4.0

O ciclo de vida dos ativos e serviços estão divididos em 2 estágios principais denominados de Tipos e Instância [22], figura 7. Os Tipos são considerados a ideia original, conceito, protótipo até aprovação [22]. Esta fase cobre as fases de desenvolvimento, criação de desenho, colocação de pedidos, testes, simulação, criação de protótipos e suas revisões [22]. Após validação dos testes, o protótipo é preparado para a produção sendo cada série uma instância do Tipo produzido [8]. O estágio das Instâncias é caracterizado pelas fases de produção, distribuição, venda, utilização, manutenção, reciclagem e desmantelamento [22]. É de referir também que ambos os estágios estão fracionados em duas tipologias [8]. O Tipo está fracionado em Pesquisa e Desenvolvimento e, Manutenção [8]. As Instâncias estão fracionadas em Produção e, Uso e Manutenção [8]. O feedback de clientes que ocorre na fase de uso das instâncias, pode conduzir à introdução de alterações, manutenção, dos protótipos, Tipos, e até introduzir alterações aos métodos de inspeção e serviço que ocorrem nas fases de manutenção das

Instâncias [22]. A capacidade de gerir os fluxos de informação ao longo do ciclo de vida, desde a forma como são utilizados, condições e dados de produção e, estados de funcionamento e anomalia, permite desenvolver produtos e serviços que vão de encontro às necessidades e expectativas dos clientes finais, mapear e auscultar critérios de competitividade tal como identificar novas necessidades e novos modelos de negócio [22]. Fabricantes e fornecedores de componentes ou softwares detêm as suas patentes e produtos (Tipos) que são produzidos (Instâncias) e distribuídos para integrar protótipos (Tipos), máquinas ou sistemas de informação (Instâncias) em curso de produção de outros fabricantes ou clientes [18]. Deste modo, os Tipos podem integrar vários níveis de instâncias até ao produto final nas suas diversas fases [18]. A gestão do ciclo de vida de ativos e serviços requer a partilha e colaboração entre as entidades envolvidas nestas diversas fases [18]. Integrar digitalmente o ciclo de vida de um produto implica integrar digitalmente as relações e necessidades dos seus intervenientes.

### **3.2.2. Eixo das camadas de Integração do RAMI4.0**

As necessidades de gestão digital requerem de uma rede global conectada que engloba ativos de chão de fábrica a sistemas de informação e gestão do negócio [18, 24]. A integração digital do RAMI4.0 é segmentado em seis camadas figura 7, que se propagam nas diversas etapas de digitalização da informação [3], contemplando as necessidades de conversão de dados, comunicação, integração em sistemas de informação e partilha [18]

A camada do ativo é referente aos ativos físicos, peças, componentes, circuitos, documentos, softwares, máquinas, instalações [8, 18, 22]. Estes ativos estão conectados através da camada de integração [22]. Os objetos físicos serão representados por funções e estados digitais nas camadas superiores [8].

A camada de integração consiste nas ferramentas e dispositivos que permitem criar e tornar digitalmente usável a informação dos ativos físicos para as camadas acima [8, 18]. Elementos de integração são HMI's, RFID, sensores, softwares, leitores de códigos de barra, código QR, etc. [8, 22]. Esta camada é sensível às características técnicas dos ativos e processos físicos [8]. As características de sensibilidade e integração dependem dos ativos e processos a controlar [23]. Deste modo cada evento no mundo real diz respeito a um evento no mundo digital, sendo a informação transposta aos sistemas

de informação através das camadas acima [18]. É de referir que os eventos que ocorrem nas camadas acima, são introduzidos nos ativos através da camada de integração [18]. Esta camada é a que revela maior dificuldade de implementação [3].

A camada de comunicação é referente à padronização da comunicação entre a camada de integração e camada funcional, através da uniformização de protocolos e formatos de dados [8, 22]. Protocolos como TCP/IP, HTTP/ FTP, redes LAN ou WAN, comunicação através de BLE, dispositivos Wi-Fi [18] e OPC UA necessários à comunicação máquina-máquina e máquina-sistema [3].

A camada informativa guarda e fornece de uma forma estruturada todos os dados da organização provenientes de sensores, máquinas ou sistemas de informação [18]. Os dados são verificados quanto à sua integridade, são sumarizados e transformados em dados utilizáveis de alta qualidade [8, 22]. Condições de semântica e comunicação entre distintos formatos e linguagens são centrais à integrabilidade [18]. Aplicativos como *AutomationML* suportam estas necessidades [18]. Nesta camada é extraído “conhecimento” através do processamento de dados [18]. As regras e lógicas que caracterizam o sistema real são formalmente descritas nesta camada [18]

A camada funcional representa o ambiente no qual os serviços e aplicações funcionam, geram-se lógicas e definem-se as regras e processos de controlo e decisão dos sistemas [8, 18, 22]. Atividades como o arranque e paragens de sistemas, teste de dados, outputs para os utilizadores tais como luzes sinalizadoras, necessidades de autentificação, regras de partilha de dados são definidas nesta camada [18]. Integrações entre aplicações ocorrem somente nesta camada, sendo central à IH das várias funções, regras e aplicações entre organizações ou sistemas [8, 18]. Dependentemente dos casos, regras de decisão podem também ser definidas nas camadas comunicação e informação [18].

A camada de negócio faz o mapeamento do modelo de negócio identificando e quantificando os fluxos de valor [8, 18, 22]. É nesta camada que acontece a integração das lógicas e regras de decisão, definindo-se os serviços da camada funcional, fornecendo o quadro legal e regulamentar a respeitar pelas cadeias de valor [8, 18, 22]. A camada de negócio ocupa-se também das ligações entre áreas e modelos de negócio [22]. É de referir que esta camada é composta pela estratégia e objetivos para o negócio [18]. Avaliação de investimentos em novas instalações e máquinas, promoções e carreias profissionais, modelos de preços, gestão de clientes, políticas ambientais, políticas de devolução, regras de produção, condições de entrega e parcerias logísticas são definidas na camada de

negócio [18]. A abordagem digital à implementação destas decisões táticas e estratégicas, às alterações que acarretam, à forma de priorização, é conseguida através das lógicas e regras definidas na camada funcional.

### **3.2.3. Integração da cadeia de valor**

Os grupos de ativos definidos pelo RAMI4.0 que compõem as cadeias de valor são os produtos, dispositivos de campo, dispositivos de controlo, estações de trabalho, centros de trabalho, a organização como um todo até ao ecossistema, figura 7 [18]. Os produtos em curso nas cadeias valor representam uma fonte de informação no que diz respeito ao estado do processo transformativo [18]. Os dispositivos de campo são os sensores e atuadores que podem estar integrados em máquinas ou instalações [18]. Sistemas de controlo, embebidos ou não, são PLC's, unidades de controlo, computadores [18]. Estações de trabalho são robôs, sistemas autónomos de armazenamento, transporte [18]. Os centros de trabalho são os departamentos das organizações [18]. A organização como um todo albergando pessoas, máquinas e processos [18]. O ecossistema como o mundo para além das fronteiras a organização em que a conexão é feita através de serviços de internet e plataformas de partilhas de dados [18].

### **3.2.4. A Camada Administrativa – *Administration Shell***

A camada administrativa, *Administration Shell*, permite a comunicação entre o mundo real e o mundo virtual [3], tornando os ativos físicos em componentes I4.0, conectados, respeitando padrões de semântica e comunicação [8, 18, 22]. A CA é a representação virtual de um ativo, de forma unívoca, tanto no estágio Tipo como Instância do seu ciclo de vida, contendo toda a informação ao longo das suas diversas fases [3]. A CA deve ser concebida de forma a que tanto sistemas internos como externos à organização possam mapear os seus ativos e respetivos parâmetros em diferentes domínios [28]. Deste modo, a CA tem de estar preparada para a integração de linguagens distintas, informação que passa por canais analógicos ou softwares que geram dados não estruturados [18]. Vários componentes I4.0 conectados formam as células de produção, flexíveis, interoperáveis e descentralizadas [8]. A CA deve também englobar as necessidades de comunicação entre os demais componentes I4.0 [22]. A CA abrange

todas as 6 camadas do modelo RAMI4.0 desde a camada do ativo à camada de negócio, contendo informação sobre localização, performance, construção, funcionalidades e dados económicos do ativo [3] garantindo as condições de segurança dos dados [18]. A extensão da CA é ilustrada na figura 8.

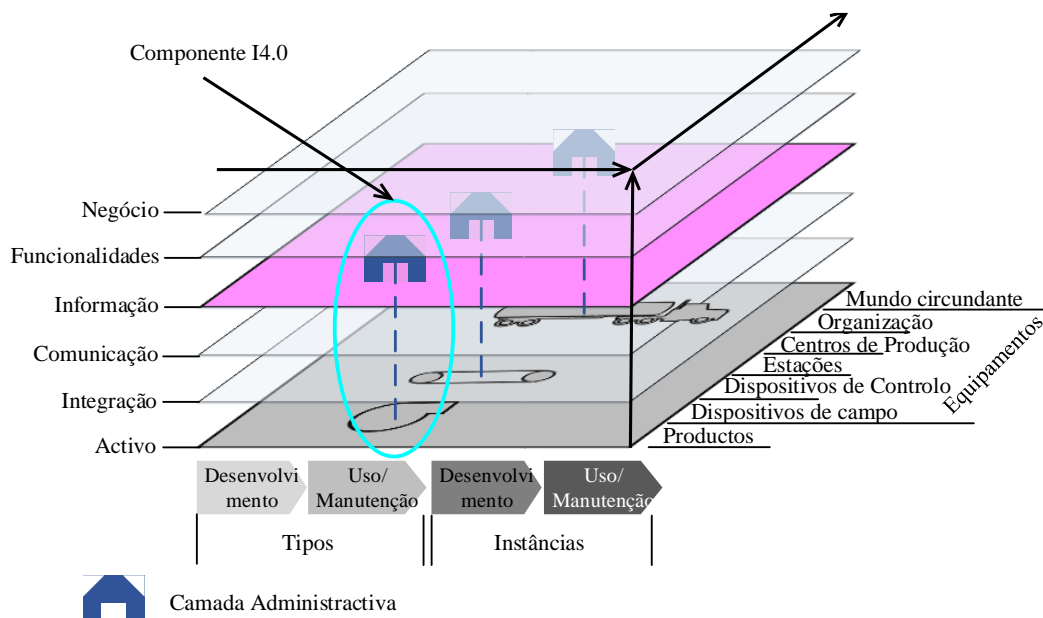


Figura 8 – Componente I4.0 composto por ativo físico e Camada Administrativa [18].

A CA suporta o conceito adjacente à visão da I4.0 em que cada ativo é um elemento ativo na criação e partilha de informação relevante [8]. Os dados gerados pelos componentes I4.0 podem ser armazenados localmente ou globalmente [3, 22], construindo o *repository* que alberga a representação digital da organização através das CA's [22]. A representação digital das capacidades e características técnicas dos componentes I4.0 são representadas na camada funcional [18].

### 3.2.5. Componentes I4.0

O componente I4.0 é composto por o ativo físico e pelas respetivas CA's [18]. Ao nível da estrutura da camada administrativa, esta é composta por o *manifest* e por o gestor do componente (*componente manager*). O *manifest* é o diretório dos conteúdos dos dados da representação virtual de um objeto, contendo meta-dados, local na rede, *ip*, ficheiros CAD e parâmetros do ativo [18]. O *manifest* pode estar alojado no componente I4.0 ou num sistema hierárquico superior [18, 22]. Por sua vez o gestor do componente é o

responsável pela autogestão do componente I4.0 e do acesso a outros componentes I4.0, garantindo em simultâneo a acessibilidade a serviços externos [3, 18].

De forma a criar uma rede de ativos global, os componentes I4.0 detêm pelo menos capacidades de comunicação passivas cumprindo as regras de semântica [18]. Paralelamente, capacidades de representação virtual e funcionalidades técnicas são necessárias à construção do componente I4.0 [3, 18]. As funcionalidades técnicas do componente I4.0 ocorrem na camada funcional [22]. Cada componente I4.0 pode ter várias CA para vários propósitos, tipos de dados e áreas organizacionais [3, 18], em que as CA que o constituem estão referenciadas entre si [28]. Cada componente I4.0 tem um número de identificação único através da CA que lhe está afeta [28].

Na arquitetura RAMI4.0, a própria organização pode ser um componente I4.0 tendo associada uma ou múltiplas CA's [28].

Os componentes I4.0 que compõem as cadeias de valor podem ser constituídos por múltiplos componentes I4.0 [18]. A CA de uma máquina permite gerir as várias CA's que integram os componentes que a constituem como unidades de corte, eixos, sistemas de controlo de pressão, etc. [18]. Esta relação entre camadas administrativas permite relacionar e trocar informações entre componentes, reconfigurar equipamentos e gerir as suas relações e dependências [18].

### **3.3. IIRA - Industrial Internet Reference Architecture**

#### **3.3.1. Estrutura do IIRA**

O IIRA tem a capacidade de ser aplicado a um amplo conjunto de organizações devido ao seu carácter global, sustentado na interoperabilidade de funcionalidades, mapeando e relacionando tecnologias operacionais de chão de fábrica com as TIC desenvolvendo um conjunto de standards e abordagens [40].

Ao nível da construção, o IIRA identifica primeiramente as principais preocupações encontradas nos sistemas IoT aplicados ao âmbito industrial, classificando-os como pontos de vista e relacionando-os com os seus principais *stakeholders* [40].

Os pontos de vista compreendem convenções e considerações que enquadram a descrição e a análise de preocupações específicas do sistema [40]. Um ponto de vista corporiza uma ou mais preocupações. O termo preocupação refere-se a um qualquer

tópico de interesse pertencente ao sistema [40]. Um *stakeholder* tem interesse numa preocupação [40]. Que informação é central para a para a gestão do seu departamento, das suas máquinas, que tipo de informação deve estar disponível para os operadores, em que momentos é que essa informação deve estar disponível, quem tem acesso à consulta e manipulação da informação são exemplos de preocupações dos *stakeholders*, que podem ser gestores, técnicos especializados ou gestores de equipas. A construção de pontos de vista, dos seus correspondentes *stakeholders*, preocupações e tipos de modelos podem ser considerados a estrutura central para o desenvolvimento do IIRA, figura 9 [40].

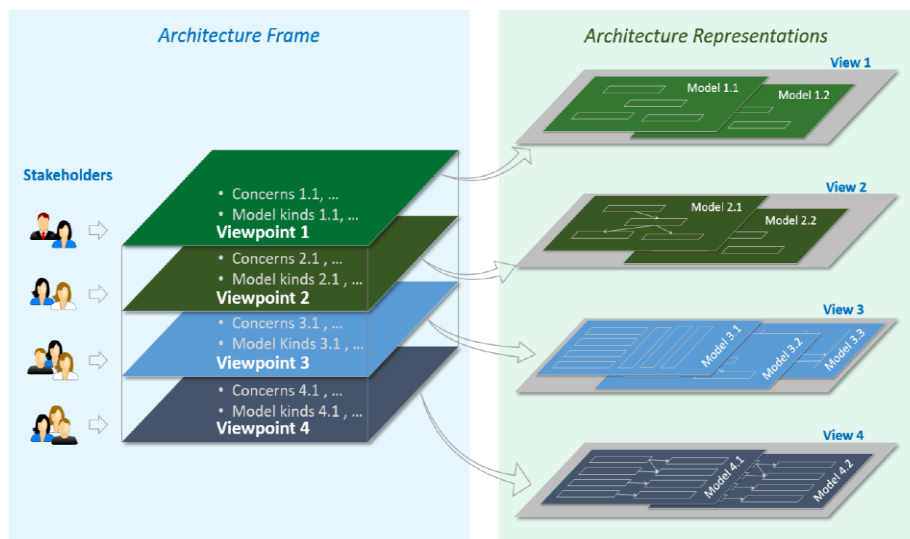


Figura 9 – IIRA – Pontos de vista, preocupações, modelos e *Stakeholders* [40].

### 3.3.2. Pontos de vista do IIRA

A abordagem dos 4 pontos de vista do IIRA permite sistematizar a identificação dos *stakeholders* e as correspondentes preocupações [40]. A discussão e deliberação de uma preocupação é feita normalmente dentro de um ponto de vista, mas a sua solução pode ocorrer noutra ou em vários pontos de vista [40]. As decisões dos pontos de vista superiores conduzem e impõem requisitos aos pontos de vista mais abaixo [40]. O IIRA apresenta 4 pontos de vista padrão para os sistemas IoT, o ponto de vista do negócio, do uso, da funcionalidade e da implementação [40].

### **O ponto de vista do Negócio**

Tem como objetivo a identificação de *stakeholders*, da sua visão do negócio, valores e objetivos e, estabelecimento de um sistema baseado nas IoT nos contextos do negócio [40]. Este ponto de vista dedica-se à identificação das capacidades fundamentais generalizadas dos sistemas IoT para atingir os objetivos da visão e objetivos da organização [40]. As preocupações destes pontos de vista são de particular interesse para os decisores, gestores de projetos e engenheiros de sistemas [40].

### **O ponto de vista do Uso**

Diz respeito à forma como o sistema IoT atinge as capacidades fundamentais definidas no ponto de vista do negócio [40]. É tipicamente representado como sequências de atividades, envolvendo humanos ou utilizadores do sistema, máquinas, estações de trabalho definindo as funcionalidades de cada um para o atingir das capacidades fundamentais do sistema IoT [40]. Os *stakeholders* envolvidos são engenheiros de sistemas, gestores de projetos ou *stakeholder* individuais como líderes de equipa ou representantes de funções, que representam os utilizadores dos sistemas IoT a desenvolver e implementar [40].

### **O ponto de vista da Funcionalidade**

Este ponto de vista foca-se nos componentes e capacidades do sistema IoT, na sua estrutura e a forma como estão relacionados, as interfaces e as interações entre si e, as relações do sistema com elementos externos do ecossistema envolvente, para suportar a utilização e o funcionamento do sistema como um todo [40]. Os *Stakeholder* envolvidos neste ponto de vista são os *developers*, programadores, integradores, etc. [40].

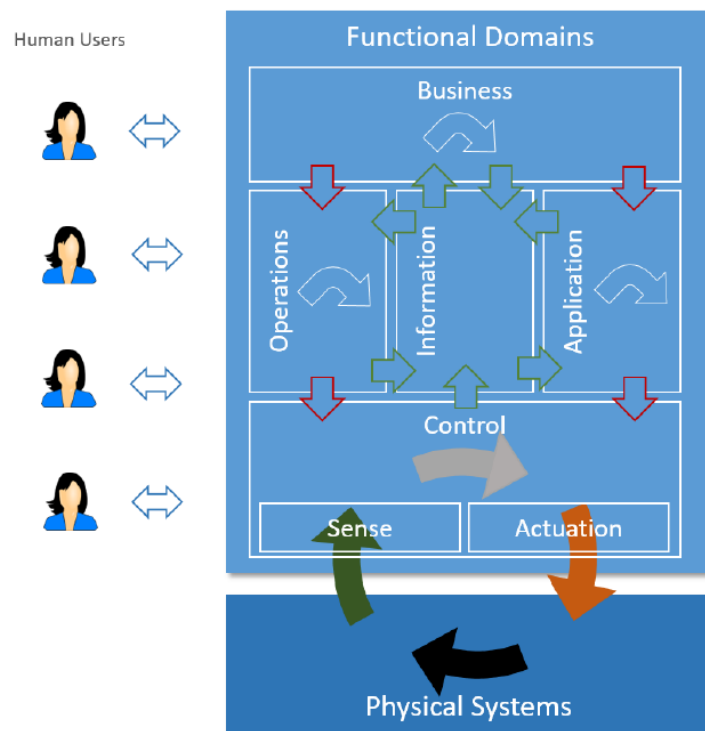
### **O ponto de vista da Implementação**

Este ponto de vista lida com as tecnologias necessárias para implementar os componentes funcionais definidos no ponto de vista da funcionalidade, os esquemas de comunicação e os procedimentos necessários [40]. Os elementos desta camada estão coordenados por tipo de atividades definidas no ponto de vista do uso e, suportam as capacidades fundamentais do sistema IoT definidas no ponto de vista do negócio [40]. Estas preocupações são principalmente para arquitetos de sistemas e de componentes, *developers*, integradores e o utilizador do sistema IoT [40].

### 3.3.3. Funcionalidades dos sistemas IoT

Central aos sistemas IoT na perspetiva do IIRA está a construção de uma representação digital dos ativos definida como *Digital Twin*, através de dados de sensores, atuadores e capacidades de conectividade instaladas no ativo [23]. O *Digital Twin* é o elemento de planeamento e controlo das operações dos ativos [23].

O ponto de vista da funcionalidade está fragmentado em 5 domínios centrais aos sistemas IoT, denominados controlo, operação, informação, aplicação e negócio, figura 10. Cada domínio é composto por um conjunto de funções necessários aos sistemas IoT [40].



Green Arrows: Data/Information Flows; Grey/White Arrows: Decision Flows; Red Arrows: Command/Request Flows

Figura 10 – Domínios do ponto de vista da funcionalidade [40].

#### Ponto de vista da Funcionalidade – Ponto de vista central à construção do modelo

A utilização do IIRA no estudo a desenvolver para a construção do modelo avaliativo tem o propósito de definir as capacidades e condições gerais que o mesmo deve seguir na definição e desenvolvimento das capacidades e variáveis de avaliação. Deste modo, a utilização do IIRA na construção do modelo reduz-se ao ponto de vista da

funcionalidade pelo facto de se dedicar às componentes e funcionalidades que compõem e integram os sistemas IoT, e que constroem o *Digital Twin*, fornecendo uma visão global da arquitetura de um sistema industrial assente na I4.0 [24].

### **3.3.4. Domínio do Controlo**

O domínio do controlo age sobre o meio físico da organização com recurso a funcionalidades de sensibilidade e de atuação esquematizado na figura 10 [40]. Funções de leitura de dados, execução de lógicas dos sistemas IoT são realizadas neste domínio [40]. Resolução e precisão são condições centrais às capacidades de sensibilidade e atuação [40].

As funções que constituem o domínio do controlo são a sensibilidade, atuação, comunicação, abstração, modelação, gestão de ativos e executor [40]

#### **Sensibilidade**

Leitura de dados de sensores com recurso a *hardware*, software, *drivers* e *firmware* [40].

#### **Atuação**

Atuadores, escrita de dados e controlo de sinais através de *hardware*, software, *drivers* e *firmware* [40].

#### **Comunicação**

Esta função permite a comunicação entre sensores, atuadores, *gateways* e controladores [40]. Características das TIC como largura de banda, latência, resiliência e fiabilidade são centrais à comunicação [40].

#### **Abstração**

A abstração permite que os sistemas superiores interpretem os dados produzidos por sensores, preparando-os e relacionando-os, permitindo a interação entre diversos sistemas [40]. Condições de interpretação semântica entre sistemas e dispositivos é necessária para o estabelecimento da comunicação [40].

## **Modelação**

A modelação permite o entendimento digital dos sistemas a controlar, as suas formas de funcionamento, comportamentos através da relação entre os dados dos sensores e dos sistemas [40]. Esta modelação é também definida por *edge analytics* e de especial interesse para processos ou ativos que não podem ser alvo da integração de quaisquer sensores ou dado o volume de dados a transferir para os sistemas superiores de processamento de dados [40]. Limpeza de dados, normalização, conversão, duplicação são subfunções necessárias à modelação [40].

## **Gestão do ativo**

A necessidade de gerir a configuração dos ativos conduz às subfunções de atualização de *software*, gestão de políticas, configuração e quaisquer outras necessidades de gestão do ativo [40].

## **Executor**

Responsável pelo controlo de estados e condições. executando lógicas e ajustando o comportamento do sistema através dos atuadores de acordo com os objetivos do sistema [40]. Os objetivos podem ser definidos localmente ou em sistemas superiores [40].

### **3.3.5. Domínio da Operação**

O conjunto de funcionalidades de gestão, monitorização e otimização do domínio de controlo são apresentadas no domínio da operação [40]. Estas funções têm o objetivo de otimizar ativos, recursos e processos mantendo o sistema focado no que é valor [40]. As funcionalidades que constituem este domínio são o prognóstico, otimização, monitorização/diagnóstico, implementação e gestão [40].

## **Prognóstico**

Funções de análise preditiva dos sistemas IoT baseadas em dados históricos de performance, condições de engenharia, informações de ativos e suas características, identificando possíveis problemas providenciando recomendações para os mitigar [40].

## **Otimização**

Funcionalidades de redução dos consumos energéticos, otimização do desempenho, da disponibilidade e aumento da capacidade produtiva garantindo que o sistema opera à sua capacidade máxima identificando perdas e ineficiências [40].

## **Monitorização e Diagnóstico**

Funcionalidades de monitorização de fatores e KPI's dos ativos, diagnosticando e detetando problemas através da recolha e processamento de dados, gerando alertas para condições anormais de operação [40].

## **Implementação**

Conjunto de funções de registo, localização e configuração que permitem ativar e retirar ativos de operação, de forma remota e segura [40]. Estas funções podem ser aplicadas a todos os ativos organizacionais [40].

## **Gestão**

Representa as funções que permitem que os sistemas superiores de gestão enviem comandos para os sistemas de controlo dos ativos e dos sistemas de controlo para os ativos e, na direção oposta [40].

### **3.3.6. Domínio da informação**

Os dados gerados no domínio do controlo são recolhidos através das funções do domínio da informação, analisando e tratando-a permitindo o controlo imediato do mundo físico [40]. O domínio da informação dispõe também de funções de transformação e preparação para dados de elevada qualidade para o suporte às necessidades de decisão e otimização dos sistemas [40]. As funções pertencentes a este domínio são as funções de dados e funções de análise [40].

## **Funções de dados**

Referentes às funções de inserção de dados provenientes de sensores e atuadores, ferramentas de limpeza e tratamento de dados, transformação sintática e semântica, armazenamento e distribuição [40]. Funcionalidade de dados em *streaming* permitem o

tratamento de dados em tempo real [40]. Funções de controlo, privilégios e acesso a dados estão também incluídas nestas funções [40].

### **Funções de análise**

Envolve as funcionalidades de modelação, análise e tratamentos avançados de dados [40].

### **3.3.7. Domínio da Aplicação**

Representa o conjunto de funções para funcionalidades e aplicações específicas do negócio [40]. As funções são referentes a lógicas e APIs/UI aplicadas a um nível global e sistémico [40].

### **Lógicas**

Lógicas, regras, fluxos e mecanismos compõem este grupo de funcionalidades, necessárias a funções específicas [40].

### **APIs e UI**

Funções necessárias para outros aplicativos, interfaces para usuários permitindo a interação com o mundo físico [40].

### **3.3.8. Domínio do Negócio**

Conjunto de funções que abrange a globalidade das operações dos sistemas IoT das organizações, integrando novos sistemas com os tradicionais, suportando os processos de negócio e as atividades que lhe estão inerentes [40]. Sistemas PLM, CRM, ERP, MES, sistemas de planeamento, de faturação são alguns casos [40].

### 3.4. Interoperabilidade entre RAMI4.0 e IIRA

A interoperabilidade pode ser definida como a capacidade de troca de dados de forma interpretável entre sistemas [23]. Existe um alinhamento entre o IIRA e o RAMI 4.0 no que respeita as funções do domínio da funcionalidade do IIRA e as camadas do RAMI4.0 [23]. A representação deste mapeamento é descrita na figura 11.

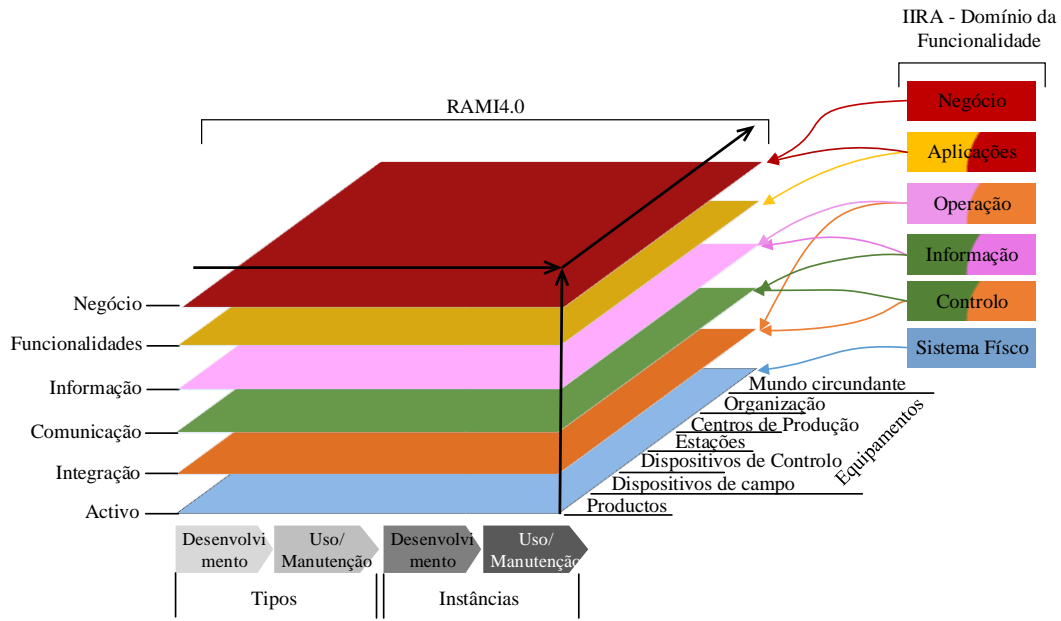


Figura 11 – Interoperabilidade entre o RAMI4.0 e o IIRA [12, 23].

A estratificação das camadas do RAMI4.0 e dos domínios do IIRA têm subjacente considerações e conceptualizações comuns. Ambos os modelos começam por considerar o meio físico como a referência à edificação das arquiteturas (camada Ativo no RAMI4.0 e domínio do sistema físico no IIRA), figura 11 [12]. Existe a necessidade em ambos os modelos de criar uma interação e comunicação em tempo real com o meio físico (camada integração RAMI4.0 e domínio controlo e operação do IIRA), criado sistemas de controlo que se iniciam nos sistemas (camada comunicação RAMI4.0 e domínio do de controlo do IIRA) [12]. No que respeita aos dados, existe a necessidade de os gerir e de os analisar definida de forma similar em ambas as arquiteturas (relação entre camada comunicação RAMI4.0 e domínios de controlo e informação do IIRA) [12]. As relações do negócio e dos seus modelos são apresentadas em ambos os modelos através da camada Negócio no RAMI4.0 e do domínio negócio do IIRA [12].

No que respeita ao nível conceptual, ambos os modelos estão dedicados à virtualização dos ativos organizacionais [23]. A CA do RAMI4.0 permite a virtualização de ativos físicos e a integração dos mesmos no contexto digital, tornando-os componentes I4.0 que respeitam as necessidades de comunicação do sistema digital [23]. Por seu turno, o *Digital Twin* do IIRA através das funções construídas nos diversos pontos de vista apresenta um objetivo semelhante, espelhando competências e funcionalidades dos ativos físicos no contexto digital [23]. O *Digital Twin* do IIRA é composto pela referência digital e pelo ativo físico [23]. A referência digital do IIRA apresenta capacidades e propósitos análogos à do gestor do componente da CA do RAMI4.0 [23].

Para a construção do modelo avaliativo, o alinhamento estrutural entre ambos os modelos permite simplificar o processo de determinação de competências e funcionalidades centrais aos sistemas digitais. A globalidade do modelo avaliativo está suportada na globalidade das abordagens de ambas as arquiteturas. A interoperabilidade entre as funcionalidades do IIRA e considerações das camadas do RAMI4.0 permitem esquematizar e estruturar as capacidades centrais que os mesmos devem possuir, compreendendo quais as tecnologias que as materializam.

### **CAPÍTULO III – Modelo Avaliativo do nível de digitalização organizacional**

### **3.5. Metodologia e abordagem construtiva do Modelo de avaliação**

A Indústria 4.0 enquanto panorama Industrial revolucionário/evolutivo, assenta numa vastidão de conceitos funcionais que não têm determinado uma clara definição e uma dependência e relação clara entre eles. Esta falta de nitidez conceptual é um desafio à criação de uma abordagem sistémica e estruturada ao modelo de avaliação.

Deste modo, assumiu-se como prioridade metodológica primeira a necessidade de estruturar os conceitos da I4.0, definindo-se as capacidades centrais da I4.0, denominadas capacidades avaliativas no presente modelo, que as organizações devem possuir e materializar para que as suas operações se desenrolem num contexto digital, representado a azul na figura 12 e figura 13.

A prioridade segunda é referente à necessidade de identificar e contextualizar as áreas de avaliação, o que medir na organização, a forma como os objetos, ativos, informação e pessoas se relacionam nos sistemas organizacionais no diz respeito à gestão das operações, permitindo contextualizar e estruturar o que se avalia, figura 12 e 13.

Por último, a terceira componente do modelo, inquérito avaliativo, resulta da integração e relação das duas componentes descritas anteriormente, figura 12 e 13. Enquanto que as duas primeiras componentes têm um carácter construtor, o inquérito avaliativo constitui-se como o instrumento de medição do nível de digitalização operacional das organizações.

As componentes que constituem o modelo são:

- Componente Estrutural.
- Componente Avaliativa.
- Inquérito Avaliativo.

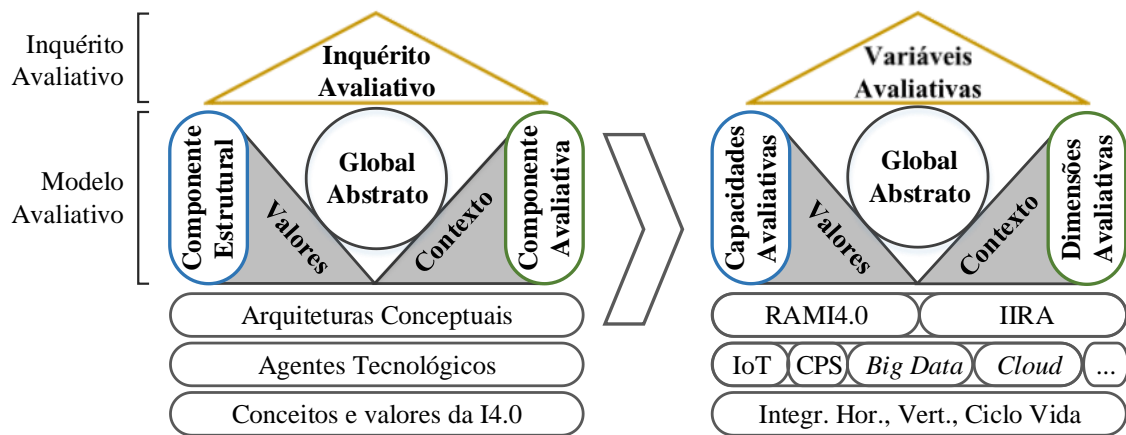


Figura 12 – Esquematização da composição do modelo avaliativo. Esquerda-representação abstrata; Direita-representação particularizada do modelo.

As capacidades avaliativas permitem posicionar e estruturar os conceitos da Indústria 4.0, definindo as competências que os ativos da organização devem possuir ou as direções dos fluxos de informação ao longo das cadeias de valor para conferir carácter digital à organização e ao ecossistema circundante. As capacidades avaliativas são deste modo os valores do modelo, apresentando carácter abstrato, definido o que o modelo se propõe a avaliar, definindo o quê e porquê de avaliar determinado contexto afeto à digitalização proporcionada pela I4.0, estabelecendo relações hierárquicas entre as os conceitos da I.0 e parâmetros funcionais necessários aos agentes tecnológicos, figura 13. As capacidades avaliativas objetivam deste modo estruturar a I4.0, relacionado os seus conceitos e métricas, permitindo um entendimento claro tanto das relações conceptuais como destes conceitos e os agentes tecnológicos que os materializam.

A definição das capacidades avaliativas por si só não permite avaliar o nível de digitalização dado o seu carácter abstrato e direccionado para a estruturação conceptual da I4.0, alheio à constituição e funcionamento organizacional. A componente avaliativa estrutura e contextualiza onde e quem da organização é sujeita a avaliação nomeadamente no contexto da gestão das operações. As dimensões avaliativas são comportamentos e condições de funcionamento que colocam as organizações no contexto digital. Permitem identificar e definir o âmbito de ação das capacidades avaliativas, mapeando-as, posicionando-as no contexto das organizações, tornando-as objetivas no propósito avaliativo, definindo onde e quem avaliar na estrutura organizacional figura 13. A abordagem à definição das dimensões avaliativas é desenvolvida tanto no contexto interno às operações organizacionais, ao seu controlo e gestão digital como é

desenvolvida através do relacionamento das operações com o ecossistema e as cadeias de valor que o compõem.

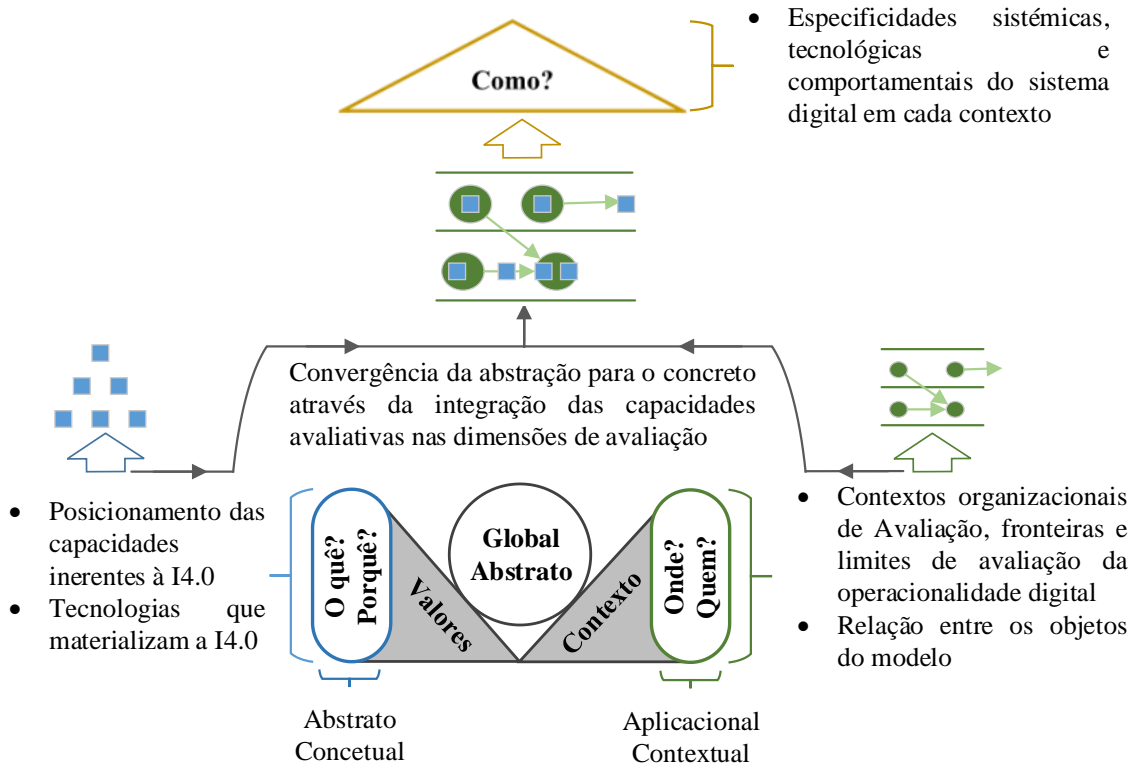


Figura 13– Particularização das componentes do modelo.

A construção do modelo avaliativo tem como *output* a definição de variáveis avaliativas que permitem aferir o nível de digitalização da gestão das operações na organização, figura 12 e 13. As variáveis avaliativas são conseguidas através da confrontação e posicionamento das capacidades avaliativas nas dimensões de avaliação, permitindo a convergência do carácter abstrato da componente estrutural para o concreto avaliativo da componente avaliativa figura 13. As variáveis avaliativas estão distribuídas em níveis de digitalização, criando patamares avaliativos que requerem do cumprimento de um conjunto de competências organizacionais fulcrais para a operação digital da organização.

### **3.5.1. Abordagem à Globalidade avaliativa – Avaliação organizacional**

O modelo desenvolvido no presente trabalho dedica-se à sintetização de modos de avaliação do nível de digitalização de uma organização no âmbito da gestão das operações. Há deste modo que definir a abrangência da gestão das operações no contexto do presente trabalho de forma a posicionar o modelo na conjuntura organizacional e no que são as suas fronteiras, propósitos e objetos de avaliação.

A gestão das operações corresponde ao conjunto de funções e práticas responsáveis pela gestão e governança das atividades operacionais de uma organização. Qualquer organização produtora de um produto ou prestadora de um serviço é composta por processos produtivos e/ou processos de suporte compostos por conjuntos ordenados de atividades que transformam entradas em saídas. Deste modo, a gestão das operações coordena estas atividades, a forma como se agrupam, como se priorizam ou como estão dependentes, assumindo uma posição central a qualquer tipo de organização ou área de negócio.

Dada a abrangência e globalidade avaliativa pretendida para o modelo e estando as organizações edificadas sobre múltiplas áreas funcionais interdependentes, produção, logística, qualidade, marketing, desenvolvimento, gestão de recursos humanos, etc., o conceito de gestão das operações será estendido, não se reduzindo às operações diretas de satisfação dos pedidos do cliente como a gestão das operações de produção ou de montagem. Esta consideração é premente não só pela necessidade da globalidade avaliativa, mas também pelo facto da inclusão digital e tecnológica nos contextos e áreas organizacionais estar a ocorrer de uma forma transversal e total às organizações, desde a forma como se controlam máquinas, como se interage com o produto ou com o cliente ou, de que forma é que as cadeias logísticas estão compostas criando uma rede cooperante e flexível entre os diversos intervenientes.

A integração de sistemas e serviços digitais na indústria tem o intuito de construir uma rede conectada e cooperante de objetos e serviços, de um extremo a outro da organização, interagindo em simultâneo com a envolvência externa. Mediante este carácter abrangente da digitalização, para o presente trabalho definiu-se que somente uma abordagem também ela abrangente se poderia enquadrar neste cenário holista. A consideração da gestão das operações somente às áreas de produção seria totalmente redutora ao cariz e à vertente global pretendida com o presente trabalho.

Paralelamente à abordagem definida anteriormente, há que referir que as organizações são “organismos” processuais de elevada envolvimento, em que *outputs* das operações de produção têm impacto direto nas condições e processos das operações de qualidade ou de logística. Por outro lado, as estruturas organizacionais são também cadeias processuais, em que *outputs* locais são instantaneamente *inputs* de outras áreas e departamentos, numa rede complexa de dependências ordenadas. Deste modo, a compreensão do nível de digitalização local, dado o nível de complexidade, pode conduzir à necessidade de se avaliar digitalmente outra qualquer área, departamento ou *output* com influência local. As limitações digitais locais podem advir de outras áreas organizacionais exigindo uma abordagem alargada à rede digital da organização como um todo.

Mediante esta abordagem organizacional e digital para a construção do modelo, as áreas operacionais que irão ser alvo de avaliação pelo respetivo modelo são as áreas da produção, qualidade, logística, manutenção, desenvolvimento e vendas. A consideração destas áreas deve-se a dois fatores centrais.

- Estas áreas incorporam a generalidades das organizações.
- São consideradas fundamentais ao funcionamento de qualquer tipo de organização.

### **3.5.2. Abordagem à globalidade avaliativa**

Posicionado o modelo no que será o contexto organizacional a avaliar, é agora tempo de explicar as considerações que definem a abordagem e metodologia de construção do mesmo.

A capacidade de reconhecer e identificar constrangimentos digitais exige uma abordagem avaliativa transparente, interpretativa da camada funcional da rede digital da organização, ajuizando interações e dependências digitais. A avaliação digital não se remete somente à avaliação dos *ouputups* gerados pela estrutura digital. Exige a compreensão do nível de integração e interoperabilidade entre objetos e sistemas para compreender integralmente a conjectura digital de partilha de informação, auto ajustabilidade mútua entre sistemas heterogéneos de comunicação e níveis de autonomia. Considere-se como exemplo um veículo autónomo de componentes que recebe o *picking* do armazém, distribuindo-os de seguida para o chão de fábrica para as linhas montagem.

Poder-se-ia medir o nível de digitalização avaliando interpretando capacidades de *tracking* em tempo real de forma a localizar continuamente o veículo no chão de fábrica ou medir a existência de sistemas de interface de controlo remoto. Esta seria uma abordagem direcionada para os *outputs* gerados a partir de uma estrutura digital, figura 14.

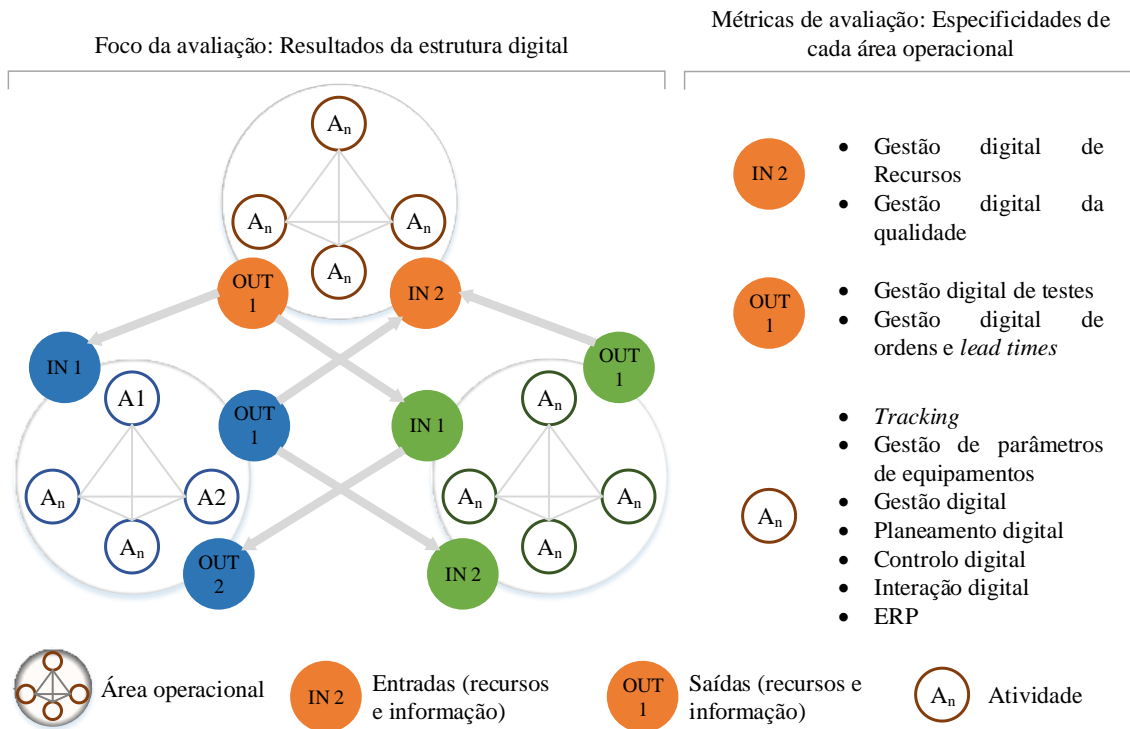


Figura 14 – Avaliação do nível digitalização direcionada somente para os *outputs* da estrutura digital.

Contudo, a análise pretendida alargada à funcionalidade digital, avalia a capacidade de o veículo ser portador ou não de informação pertinente sobre o seu estado e o estado do meio envolvente (condição central à autonomia total e descentralizada), capacidades colaborativas, como capacidades de pesquisa e auto emparelhamento com dispositivos circundantes, que têm implícito uma avaliação da interoperabilidade e da integrabilidade de protocolos, figura 15. Um sistema é tão digital quanto digital seja a estrutura que materializa os seus *outputs* digitais. Há que avaliar o nível de digitalização dos sistemas que materializam os *outputs* digitais. Esta máxima está latente à abordagem construtiva do modelo.

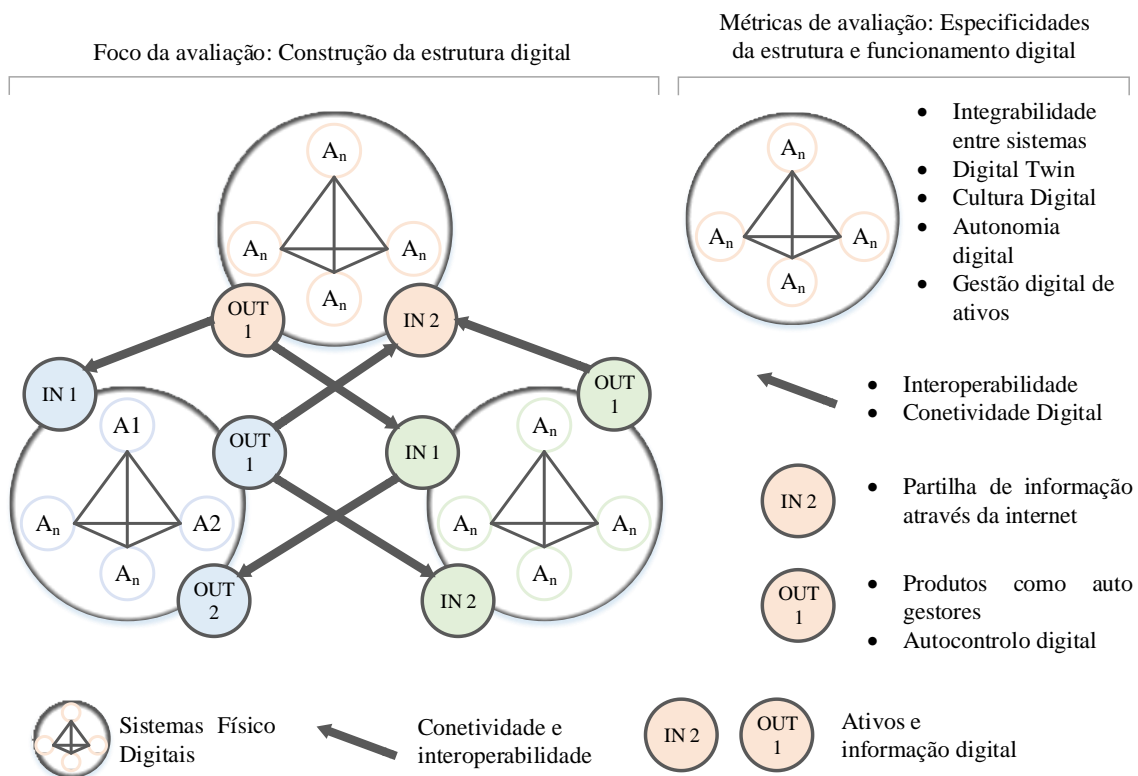


Figura 15 – Avaliação do nível de digitalização direcionada para a funcionalidade da estrutura digital.

Paralelamente, é de referir que o modelo deve apresentar carácter transversal, permitindo a avaliação de qualquer tipo de organização. Uma abordagem avaliativa focada somente na abordagem de *outputs* dos sistemas digitais exigiria a identificação e consideração de particularidades de cada área operacional da organização de forma a construir-se uma abordagem global. Esta condição exigiria uma abordagem completamente ampla e exaustiva incorrendo na condição que *outputs* digitais relevantes para uma organização podem não o ser para outra, limitando a transversalidade aplicacional do modelo. Por seu turno, a abordagem de avaliação direcionada para as funcionalidades intrínsecas aos sistemas digitais, está direcionada para as necessidades tecnológicas de sistemas e dispositivos digitais, conectados. Esta condição permite que o modelo seja alheio a especificidades e condições de cada área operacional ou de negócio.

A construção do modelo está assente na combinação da abordagem por *outputs* de cada área operacional, sem entrar em especificidades e, combinada com uma abordagem às funcionalidades intrínsecas dos sistemas digitais.

### 3.5.3. Fronteiras e limites do modelo

Os contextos de avaliação do presente modelo estão direcionados para a gestão das operações, dedicando-se à análise digital de áreas como automatização, virtualização de interações, rápida experimentação ou visibilidade operacional das diversas áreas organizacionais. Deste modo, o presente modelo não se dedica à análise de áreas afetas ao desenvolvimento e implementação de sistemas digitais do ponto de vista da estratégia, roteiros de implementação ou liderança.

Ao nível tecnológico é de referir que o desenvolvimento de capacidades afetas à *cyber* segurança não é realizado no presente trabalho. A complexidade e total inerência a todos os agentes tecnológicos da *cyber* segurança, conduz à necessidade de assumir uma abordagem totalmente dedicada, que permita explorar as particularidades e necessidades de implementação. As condições definidas para a *cyber* segurança definem as condições e graus de liberdade de todo o sistema digital requerendo de um estudo preciso e integralmente dedicado à sua natureza.

O modelo dedica-se à avaliação do nível de operação, controlo e gestão das diversas áreas organizacionais. Dada a sua necessidade de transversalidade e globalidade avaliativa, não é desenvolvido no presente modelo uma avaliação digital dedicada a particularidades e indicadores de referência de cada área organizacional. Assuma-me como exemplo a medição do nível de qualidade de um determinado processo. A medição da qualidade implicaria a definição de considerações que posicionariam o modelo para o que poderia ser interessante e importante medir ao nível da qualidade de um processo. Contudo, dada a globalidade pretendida para a aplicação do modelo e estando cada organização configurada de forma particular no que respeita aos parâmetros e indicadores considerados por si relevantes. A convergência da abordagem construtiva do modelo nesta direção constituir-se-ia como uma limitação dado o cenário em que as variáveis e parâmetros considerados pelo modelo não existam no contexto das operações da organização a avaliar. Inversamente, possíveis parâmetros particulares, mas importantes de avaliação de cada organização aqui não considerados tornaria o modelo limitado no seu espectro avaliativo. A avaliação dedica-se em apurar o nível de digitalização do sistema organizacional, ao nível de outputs do sistema digital que permitem o controlo, gestão e operação e, a avaliação da forma como esta informação é gerada, partilhada e tratada.

### **3.5.4. Objetos do modelo de avaliação – ativos, informação e pessoas**

A forma como os processos organizacionais estão construídos varia entre organizações, culturas, objetivos de controlo e interpretações particulares do que são as condições e cenários de operações. Existe deste modo, a necessidade de construir a avaliação centrada em objetos transversais permitindo uma aplicabilidade imune às especificidades e condições de operação de cada organização ou tipo de negócio.

De forma a suportar a globalidade e objetividade da avaliação, definem-se três objetos centrais em que as capacidades avaliativas da componente estrutural incidem e que serão os alvos de avaliação na componente avaliativa:

- Pessoas
- Informação
- Ativos

Estes três objetos são considerados os pilares funcionais, existenciais, passíveis de inovação de uma organização no que respeita a gestão das suas operações. Estes objetos são considerados os elementos através dos quais as operações se desenrolam, relacionando-se entre si de uma forma totalmente dependente e subjacente a qualquer conjunto de atividades.

Na componente avaliativa, estes objetos constituem as áreas nas quais a avaliação se vai desenvolver exigindo uma apresentação mais exaustiva dos contextos a avaliar de cada objeto. Para efeitos da componente estrutural, dado o seu carácter abstrato e direcionado para o que é a estrutura dos sistemas digitais das organizações, os objetos são usados como elementos de posicionamento e interpretação da forma como as capacidades avaliativas se podem materializar. Na componente avaliativa os objetos permitem dar contexto, tornar concreta as formas como as capacidades avaliativas se podem empregar. Assuma-se o exemplo da capacidade avaliativa portabilidade da informação (a ser apresentada no capítulo 4.2.2), esta capacidade refere-se às máquinas, dispositivos de controlo, robôs, peças, os ativos físicos das organizações como elementos portadores de informação relevante para o desenrolar das operações. Contudo, não é feita uma análise da forma como esta capacidade se deve materializar para realmente ser avaliada. Para isso é necessário um contexto, uma objetividade avaliativa que é desenvolvida na componente avaliativa.

A I4.0 tem como princípios tecnológicos centrais a IoT, IoS, a *Internet of Data* e a *Internet of people* [17]. Deste modo, a escolha destes 3 objetos tende também a ir de encontro aos macro grupos tecnológicos da I4.0, ativos (IoT), informação (IoS e *Internet of Data*) e Pessoas (*Internet of people*) posicionando o modelo nos mesmos princípios tecnológicos da I4.0, facilitando o alinhamento das tecnologias e conceitos que lhe estão inerentes com o que é a avaliação.

No que respeita às características de cada objeto, as pessoas constituem-se como as forças motrizes das organizações, os arquitetos do *modus operandi* das operações, interagindo entre si e com os ativos, criam e partilham informação. São os elementos gestores, identificam causas de anomalias e desvios sendo as fontes de criatividade e personalização. De uma perspetiva operacional, as pessoas operam e gerem os ativos, requerendo uma interação dinâmica e interativa para rápidas ajustabilidades, aprendizagens e uma operação totalmente consciente. Requerem deste modo de uma visibilidade que se estenda aos diversos vértices organizacionais, para uma interação precisa dos processos da organização e com o ecossistema circundante. Sistemas digitais têm de ser construídos em torno das pessoas suportando-as na interação e interpretação do ecossistema digital e físico. As pessoas são os elementos gestores e últimos decisores nos sistemas digitais. Por seu turno, são as pessoas que materializam e constroem a cultura que define a entidade, performance, flexibilidade e ajustabilidade às inovações tecnológicas das organizações. Avaliar uma cultura é avaliar pessoas. Avaliar digitalmente uma organização implica avaliar o quão a cultura dessa organização está direcionada e predisposta para as necessidades digitais.

Enquanto que as pessoas são os centróides de decisão e criatividade, os ativos organizacionais, máquinas, dispositivos de controlo e monitorização, estruturas/infraestruturas, peças e componentes, são os centros da transformação digital organizacional, da permeabilidade entre o meio físico e as pessoas e, os sistemas e plataformas digitais. À semelhança do eixo de integração da cadeia de valor do RAMI 4.0 [18], as classes de ativos considerados para o presente trabalho são:

- Peças e recursos.
- Dispositivos de controlo.
- Máquinas e estações.
- Instalações e infraestruturas.

O pretendido com esta abordagem é avaliar o quão digitais os ativos que compõem os processos organizacionais são, através de uma avaliação individualizada a cada tipologia de ativo, mas também da avaliação da forma como os ativos interagem e colaboram entre si dado que a performance dos sistemas digitais não corresponde à soma das suas partes. Por outro lado, dado o vasto portfólio de tecnologias da I4.0, da sua complexidade e forma de relacionamento das mesmas, é desenvolvido no presente trabalho uma esquematização entre as tecnologias e as classes de ativos, suportando a interpretação da I4.0 consumada pelo modelo e suportando o que será a construção das variáveis avaliativas. A esquematização das tecnologias e classes de ativos é apresentada no Anexo 1.

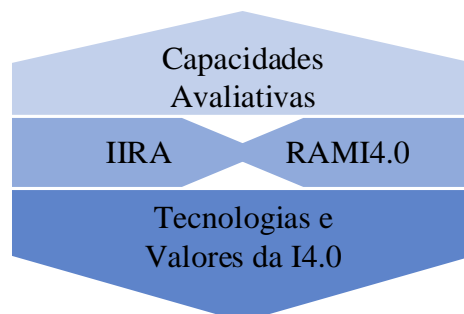
A I4.0 descentraliza parte da capacidade de gestão operacional da organização para os ativos através de uma rede digital colaborativa autónoma, que utiliza informação produzida localmente através de sensores e atuadores e, informação global através da conectividade e da BD, interagindo diretamente ou indiretamente com as pessoas. Dada esta simbiose indissociável dos objetos na rede digital e nas operações organizacionais, para determinados contextos o modelo faz uma avaliação conjunta sem uma definição e diferenciação precisa dos objetos.

A informação enquanto meio e fim em si própria no contexto da I4.0 e das organizações, quantifica estados, comportamentos e históricos operacionais nas diversas áreas e âmbitos organizacionais. A construção de fluxos fluídos de informação extensíveis às diversas áreas de operação da organização é um elemento central ao modelo avaliativo. O facto de o mundo estar a migrar de um sistema de fornecimento de produtos para fornecimento de serviços, cada vez mais processos são transposições e partilha de informação pelo que a medição dos fluxos de informação é fulcral à avaliação digital.

## 4. Componente Estrutural – Estruturar para avaliar

### 4.1. Metodologia Construtiva

A I4.0 no que respeita às tecnologias que a constituem e à abrangência das suas aplicações, conduz à necessidade de recorrer aos conceitos que lhe estão subjacentes para a construção de uma abordagem sustentada e abrangente. Os conceitos e princípios da I4.0 são considerados centrais à abordagem construtiva constituindo-se como blocos construtores das capacidades avaliativas de cada camada. Aliados aos princípios da I4.0 estão as especificidades e necessidades das tecnologias que constituem a Indústria 4.0. A simbiose dos princípios da I4.0 e das suas tecnologias são os delimitadores centrais na definição das capacidades avaliativas formando os valores da estruturação das capacidades avaliativas esquematizado na figura 16. Veja-se o exemplo das necessidades de conectividade entre dispositivos em que estes têm a capacidade de partilhar informação relevante de uma forma estruturada e interpretável entre si. Subjacente a estas capacidades tecnológicas estão as capacidades de interoperabilidade, semântica, sintática e técnica para a partilha de dados. A interoperabilidade é deste modo considerada um valor da estruturação. Deste modo, a interoperabilidade é omnipresente à I4.0 materializando-se através de um conjunto de capacidades tecnológicas que permitem que outras tecnologias possam operar. A utilização dos valores inerentes à I4.0 aliada a uma abordagem globalizada das tecnologias permite que o modelo esteja absorto a especificidades, permitindo que possa absorver tecnologias que se venham a desenvolver futuramente na sua avaliação.



$$\text{Capacidades avaliativas} = \text{Valores (I4.0 + Tecnologias)} \times (\text{RAMI4.0} + \text{IIRA})$$

Figura 16 – Forças dimensionais das camadas das capacidades avaliativas.

Após a definição dos valores de construção, há a necessidade de corporizar as capacidades avaliativas que os materializam. Neste seguimento, o RAMI4.0 e o IIRA apresentam-se como as arquiteturas que conferem objetividade à componente avaliativa posicionando e delimitando a abstração. A utilização destas arquiteturas visa a construção do modelo em camadas sucessivas organizando as capacidades avaliativas. O RAMI4.0, orientado sobre os três níveis de integração da I4.0, IV, IH e ICV enquadra-se integralmente com o *core* conceptual da I4.0. No que respeita ao IIRA a sua aplicabilidade devesse a dois fatores centrais. O primeiro está relacionado com o facto de esta arquitetura ter sido desenvolvida segundo uma perspetiva de preocupações da aplicação da Internet das coisas (conjunto tecnológico fundamental à I4.0) no contexto industrial trazendo uma visão mais próxima da realidade em que se inserem as organizações. O segundo fator afeto ao IIRA refere-se à sua conceção, em que o seu desenvolvimento ocorreu sobre diferentes pontos de vista de necessidades tecnológicas, necessidades do ponto de vista do uso, do ponto de vista das funcionalidades e do ponto de vista das tecnologias a implementar para criar um sistema Industrial de gestão e controlo através da IoT. Estas necessidades são criadas através da visão dos diferentes *Stakeholders*, de qualquer nível hierárquico da organização, conduzindo a uma abordagem global e transparente destas preocupações.

De forma a criar uma linha estrutural comum, o RAMI4.0 e o IIRA são conjugados e dispostos num só através da interoperabilidade apresentada entre as duas arquiteturas. O objetivo desta fusão conceptual está em conjugar a objetividade do IIRA à abstração do RAMI4.0.

As capacidades avaliativas representam as competências e aptidões digitais que as organizações devem possuir para que a sua realidade operacional esteja inserida no paradigma da I4.0. As capacidades avaliativas não se direcionam para a avaliação da existência de tecnologias pertencentes ao compêndio da I4.0. As capacidades avaliativas preocupam-se com a necessidade de avaliar as competências organizacionais conseguidas com essas tecnologias e, com as valências que os sistemas digitais devem possuir de forma a materializar estas competências. É neste sentido que a globalidade avaliativa descrita no capítulo 4.2.5 exige uma avaliação dos *outputs* do sistema digital organizacional e também da forma como está construído, de como se relacionam os seus elementos. Uma avaliação suportada nas especificidades tecnológicas obrigaria a um estudo holístico das mesmas, de forma a compreender a sua vastidão, particularidades e

condições de funcionamento. A simples idealização deste compêndio tecnológico é por si só já um desafio.

#### **4.1.1. Abordagem à construção**

A construção estrutural do modelo teve como premissas interpretativas a globalidade avaliativa necessária à Indústria 4.0, a transversalidade da sua aplicabilidade e a flexibilidade de absorção de novas tecnologias e conceitos.

A globalidade avaliativa remete para a condição de abrangência da I4.0. A I4.0 enquanto paradigma evolutivo abrange as diversas dimensões de controlo e operação da organização, a diferentes níveis de gestão ao longo dos seus departamentos e áreas funcionais tendo como instrumentos digital os recursos físicos e virtuais que a compõem, criando fluxos de informação multidirecionais. Paralelamente, os ecossistemas circundantes às organizações são cada vez mais dinâmicos e mutáveis, exigindo um maior número de interações entre as organizações e os mesmos, criando-se a necessidade de uma atmosfera de fluxos digitais de informação, entre parceiros e *players* do mesmo nível da cadeia de valor ou de clientes ou entidades reguladoras centrais ao propósito e conformidade funcional da organização. Os três níveis de integração da I4.0, IH, IV e ICV, conceptualizam o descrito previamente constituindo-se como um dos objetivos centrais à I4.0. Neste sentido, a construção da estrutura avaliativa tem subjacente estes três níveis, sendo os valores que cada direção de integração incorpora as forças motrizes de construção das capacidades avaliativas.

A transversalidade do modelo refere-se ao seu carácter mais abrangente no que respeita a sua aplicabilidade. A necessidade de criar um modelo suscetível de se aplicar tanto à indústria dos serviços como à indústria de produtos, distribuídos ao longo dos quatro sectores industriais classificativos, requer de uma abordagem abstrata às áreas organizacionais, da tipologia de produto/serviço, dimensão e fase do seu ciclo de vida (*startup* ou empresa implementada). A transversalidade foi conseguida em primeira instância através da abordagem global de construção de camadas que tem uma abordagem conceptual holística. Em segunda instância, a transversalidade é conseguida através das arquiteturas de padronização conceptual RAMI4.0 e IIRA, cujos *guidelines* e standards são totalmente alheios às especificidades organizacionais, dedicando-se à

contextualização de tecnologias que capacitam os ativos e sistemas à operação digital da organização.

É de referir que o presente trabalho não contempla uma avaliação das necessidades de segurança dos sistemas digitais. A diversidade, complexidade e abrangência da *cybersegurança* requer de um estudo dedicado e dirigido somente para as questões específicas desta temática.

#### **4.1.2. Informação – A Matéria-prima da I4.0**

A capacidade de transpor cenários e realidades físicas para o ambiente digital, faz-se através da digitalização de informação física que é usada para análise, controlo e gestão operacional das organizações. Há primeiramente que integrar os dados físicos em dados digitais, tratá-los e transformá-los em informação pertinente e descritiva. Esta informação é partilhada, analisada e usada para avaliar e decidir num ciclo digital contínuo apresentado na figura 17. No contexto da I4.0, a descrição e controlo do ecossistema físico é feita através da sua representação virtual, constituída por informação pertinente. A I4.0 tem na sua génese conceptual a informação como um meio e um fim em si mesmo. A informação como um meio no sentido em que se cria a verdade operacional da organização, a sua descrição através da informação digital, a informação digital como um meio de decisão e visibilidade. Um fim, pois, a I4.0 dedicasse de forma exaustiva à capacidade de gerar dados digitais, a digitalizar o meio físico, a gerar, tratar e tornar interpretável a informação necessária aos sistemas e dispositivos. É neste sentido que a informação é considerada a matéria-prima da I4.0.

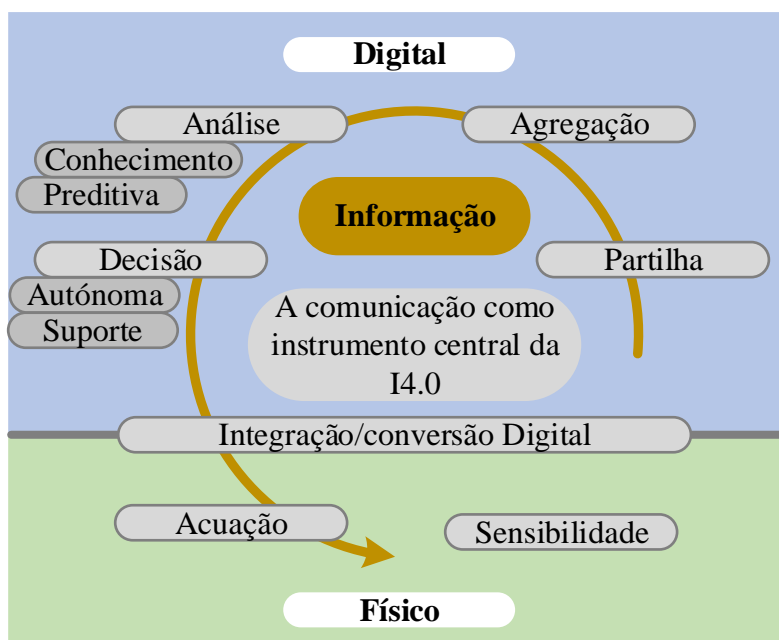


Figura 17 – O ciclo informacional. A informação como a matéria-prima da I4.0.

A partilha e a interoperabilidade da informação entre sistemas e dispositivos estão subjacentes ao termo conectividade sendo fulcral à visibilidade, transparência, flexibilidade ou quaisquer outras potencialidades que a I4.0 confira à organização. Deste modo, o ciclo informacional é central ao funcionamento de qualquer organização inserida no paradigma da I4.0 sendo central à organização e construção do modelo.

De forma alusiva, considere-se como exemplo um armazém automático de alimentação de chapas para máquinas de corte Laser. A chegada de chapa à estação de carga da máquina é “sentida” através dos sensores de fim curso e de medida do código de barras identificativo do lote e artigo de material. Este sinal elétrico é transformado num sinal digital, conversor I/O, interpretável pelo controlador PLC, do armazém automático de chapa (integração digital). Através de sistemas wireless conectados à rede LAN, a informação é partilhada com os sistemas de aquisição de dados na *cloud* (partilha). A informação é descriptada, descompactada e estruturada numa base de dados comum integrada nos sistemas de informação (agregação). Seguidamente, a informação digital, é estratificada nos sistemas de informação tornando-a interpretável para os utilizadores permitindo compreender e analisar a realidade física do processo (análise). A análise pode ser referente aos dados gerados, reconhecendo padrões e particularidades dos sistemas, construindo conhecimento. A análise pode estar direccionada para o presente como para considerações futuras, prevendo e prescrevendo recomendações e cenários. As decisões

e ações dos utilizadores nos sistemas de informação conduzem a um novo percurso informacional, mas agora no sentido digital -> físico fechando o ciclo. O exemplo descrito além de alusivo, reforça a importância do tratamento e do papel da informação no desenvolvimento da rede conectada de ativos e sistemas. Há primeiramente que construir uma estrutura de digitalização, comunicação e informatização da informação física.

## 4.2. Componente Estrutural

### 4.2.1. Orientação por camadas

O descrito no subcapítulo anterior revela a importância do ciclo de informação na construção de uma organização digital constituindo-se como elemento central na definição da abordagem e nas considerações estruturais. Contudo, a abordagem à componente estrutural parte dos conceitos da I4.0 e das suas tecnologias em toda a sua abrangência. A globalidade, transversalidade e flexibilidade da componente estrutural são objetivos fundamentais à sua construção.

De forma a compor o descrito, a componente estrutural segue uma construção por camadas, em que cada camada dispõe os valores e as respetivas capacidades avaliativas apresentadas na tabela 2.

Camada 4	<b>Fusão Físico-Digital</b>	Valores I4.0 (conceitos I4.0 e Tecnologias)	=> Capacidades avaliativas (estructuradas através do RAMI4.0 e IIRA)
Camada 3	<b>Informatização</b>	Valores I4.0 (conceitos I4.0 e Tecnologias)	=> Capacidades avaliativas (estructuradas através do RAMI4.0 e IIRA)
Camada 2	<b>Comunicação Global</b>	Valores I4.0 (conceitos I4.0 e Tecnologias)	=> Capacidades avaliativas (estructuradas através do RAMI4.0 e IIRA)
Camada 1	<b>Integração Físico-Digital</b>	Valores I4.0 (conceitos I4.0 e Tecnologias)	=> Capacidades avaliativas (estructuradas através do RAMI4.0 e IIRA)

Tabela 2 – As quatro camadas da componente estrutural.

A camada 1 consiste na integração digital da informação física no mundo virtual e no sentido oposto através de sensores e atuadores embebidos, computação e automação. A camada 2 é referente à conectividade entre dispositivos e sistemas de informação em qualquer localização, entre qualquer tipologia de dispositivo e sistema, tanto a nível interno como externo à organização. A terceira camada, informatização, dedicasse ao tratamento e estruturação de dados, permitindo a integrabilidade dos mesmos entre dispositivos e sistemas de informação. Enquanto que as três primeiras camadas se

dedicam à conversão, conectividade e preparação da informação para a sua usabilidade, construindo a representação digital organizacional denominada *Digital Twin*, a camada 4, fusão físico-digital, é referente à utilização desta representatividade virtual para o controlo e gestão digital do ecossistema físico. A camada 4 dedicasse, além de referir as capacidades avaliativas para o controlo organizacional interno, dedicasse também em expor as capacidades avaliativas para a integração da informação entre os diversos parceiros da cadeia de valor e da digitalização do ciclo de vida de ativos e serviços

#### **4.2.2. Camada 1 – Integração físico-Digital**

##### **Valores físico-digitais**

A camada de integração físico-digital dedica-se à conversão digital dos eventos que ocorrem no ecossistema físico e, simultaneamente, permite a manipulação e condicionamento do mesmo em função de eventos digitais. É, portanto, a camada de permeabilidade entre o ecossistema físico e digital. As capacidades que caracterizam esta camada são referentes à sensibilidade e atuação entre o ecossistema físico e ecossistema digital. Os valores subjacentes a estas capacidades centrais são a miniaturização, dispositivos embebidos e automação, figura 18. A miniaturização de elementos digitais, acompanhada da diminuição dos seus custos de produção e implementação, têm permitido a dispersão dos mesmos por os diversos ativos, desde peças e máquinas, a instalações e infraestruturas. Deste modo, o embebimento destes dispositivos tem permitido que os ativos organizacionais tenham um papel mais ativo na monitorização do seu estado de funcionamento, da sua localização e eventos físicos circundantes. Do ponto de vista da atuação, a miniaturização e embebimento aliada à automação têm permitido que os ativos tenham um papel mais ativo no controlo dos eventos do meio físico circundante e na sua auto ajustabilidade.

A integração de dados provenientes de sensores para meios digitais de computação, ou o sentido inverso, é conseguida através da interoperabilidade, valor central à I4.0. A Interoperabilidade refere-se às necessidades de acessibilidade de dados, semântica e sintaxe das diversas linguagens e tipologias de sinais para que dois ou mais ativos ou sistemas troquem informação perceptível em que o contexto é interpretável por ambos.

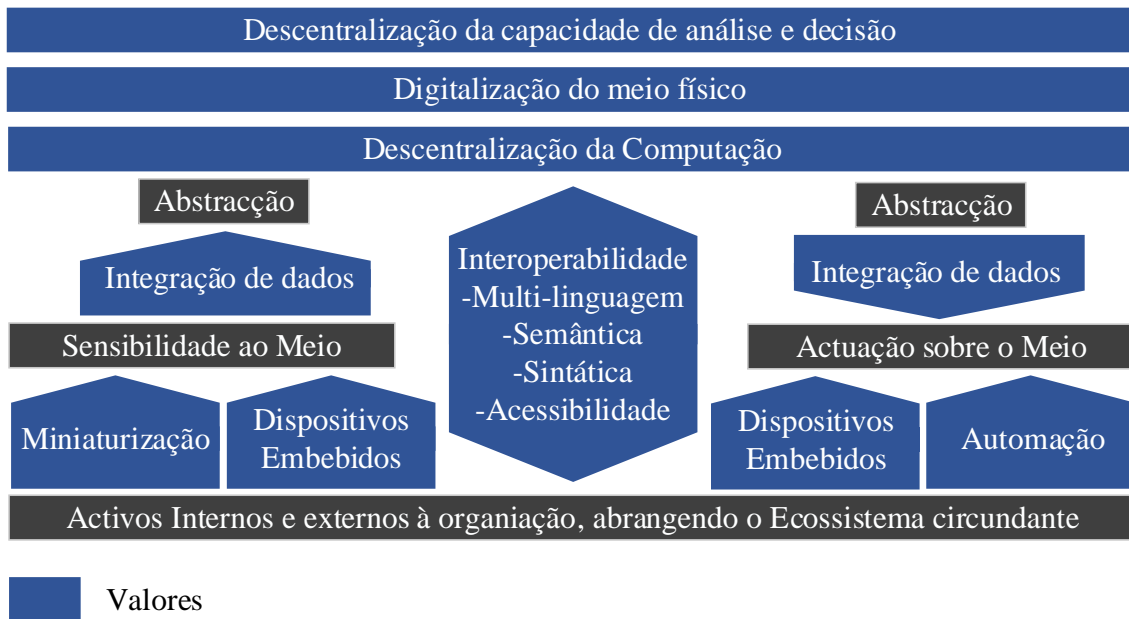


Figura 18 – Valores da Camada 1 – Integração Físico-Digital.

A descentralização computacional refere-se aos ativos enquanto portadores de competências computacionais de processamento e armazenamento de dados. A portabilidade destas valências digitais está subjacente às necessidades de comunicação a descrever dos ativos na camada 2. Além de ser fulcral à conectividade, a computação permite que os ativos respondam automaticamente a alterações do meio físico e suportem as interfaces de controlo e monitorização dedicadas ao humano. A descentralização da computação permite que o processamento, análise e resposta a um evento físico ocorra o mais próximo possível do local da sua origem ou necessidade, condição importante para a flexibilidade operacional e a visibilidade. Estas capacidades permitem digitalizar o ecossistema físico e proporcionar as plataformas de controlo e análise dos ativos e dos processos, que na camada 4, serão fulcrais para a gestão organizacional e descentralização da gestão. A informação como matéria-prima, a computação como plataforma digital de processamento, transformação e preparação da mesma. O conceito de miniaturização estende-se também à capacidade computacional permitindo que estes tipos de tecnologias incorporem mais ativos da cadeia de valor, criando a plataforma primária de comunicação e colaboração descentralizada.

## Capacidades Avaliativas Físico-digitais

Os valores descritos constituem-se como as diretrizes construtoras das capacidades avaliativas. As capacidades avaliativas da camada 1, integração físico-digital, são a capacidade sensorial, capacidade de atuação, integrabilidade digital, integração com o humano, descentralização computacional e portabilidade da informação apresentados na tabela 3.

Capacidade Avaliativa	Âmbito
CA1.6	Capacidade Sensorial
CA1.5	Capacidade de Atuação
CA1.4	Integrabilidade Digital
CA1.3	Capacidade Computacional
CA1.2	Interfaces com o Humano
CA1.1	Portabilidade da Informação

Tabela 3 – Capacidades Avaliativas da camada 1, físico-digital.

A capacidade sensorial é referente à percepção digital do meio físico. Dispositivos sensores, embebidos, captam as variações dos parâmetros físicos dos ativos em tempo real. A capacidade sensorial é marcada pela heterogeneidade de parâmetros físicos e tecnologias utilizadas. Esta capacidade é a primeira interface à caracterização digital do ecossistema físico.

A existência de elementos atuadores condicionadores dos parâmetros do ambiente físico, materializam a capacidade acional das organizações digitais. A capacidade de atuação dos ativos estende-se à configuração e manipulação do seu estado de funcionamento.

As capacidades sensorial e de atuação são as capacidades mais periféricas (excluído sistemas de informação) do ecossistema digital constituindo-se como os poros físico-digitais do meio digital.

A permeabilidade dos dados entre os ecossistemas físico-digital pressupõe a conversão dos mesmos preparando-os para os dispositivos que irão integrar. Deste modo, as capacidades de integrabilidade digital dizem respeito à interpretação semântica e sintática entre os diversos dispositivos e sistemas através de protocolos de comunicação.

A informação captada pelos sensores nos seus diversos formatos (analógicos ou elétricos) tem de ser convertida em formatos importáveis e integráveis nos sistemas, dispositivos de controlo computacionais ou para as interfaces Máquina-máquina. O inverso é também válido, conversão dos dados digitais para distintos formatos para o acionamento dos atuadores. A capacidade de interoperabilidade abstrai os dados da sua origem preparando-os para os dispositivos/sistemas de destino.

No que respeita à permeabilidade do ecossistema digital por parte do humano, interfaces dedicadas permitem a sua interatividade, controlo e monitorização, tanto com ativos como com processos. Do ponto de vista da descentralização da decisão, fator que caracteriza a I4.0 na alteração de paradigma de operador para gestor a discutir na camada 4, a existência de interfaces de suporte à decisão, interativas, móveis e imersivas são centrais a esta alteração. No que se refere ao processo de decisão, no presente modelo, este processo pode ser assumido tanto por pessoas como pelas tecnologias digitais. O processo de decisão no presente trabalho é definido como uma sequência de fases ordenadas, envolvendo análises, avaliação e determinação do valor para o que se pretende decidir, planeamento e execução [21].

A capacidade computacional advém das necessidades de processar, armazenar e estruturar dados para os demais ativos ou sistemas de informação. Estas capacidades computacionais, embebidas ou exteriorizadas, são a plataforma base de controlo e operabilidade locais. A capacidade computacional está na base de funcionamento dos executores lógicos para a automação dos ativos, aplicando regras de controlo a um ou vários ativos em colaboração para compreender o estado do ambiente físico circundante através de sensores e, de o condicionar através de atuadores em tempo real. Os objetivos de controlo podem ser definidos localmente ou em sistemas superiores.

A capacidade de portabilidade da informação dos ativos permite que os mesmos sejam portadores de dados técnicos, funcionais, descritivos ou históricos pertinentes para a sua gestão e controlo locais. A portabilidade da informação é relevante para a pesquisa e conectividade de e entre ativos, dentro e fora do domínio organizacional a descrever na camada 4, fusão físico-digital. Esta descentralização da informação confere autonomia aos ativos para se descreverem, definindo necessidades de conectividade, condições de segurança ou o histórico do seu funcionamento.

A camada de integração físico digital dedica-se não só à atuação, sensibilidade e interfaces com o humano, mas também em construir a estrutura digital, capacidades

computacionais e de gestão da informação necessárias às camadas a cima. Descentralizar as capacidades de computação e de armazenamento e processamento de dados para descentralizar a conectividade e o controlo local.

### 4.2.3. Camada 2 – Conectividade Global

#### Valores da Conectividade Global

A conectividade entre ativos e de ativos com os sistemas de informação é um dos pilares centrais da I4.0. A capacidade de criar sistemas produtivos adaptáveis, integrar ativos materiais em sistemas de controlo, requer primeiramente de um grau de conexão transversal estendendo-se a ativos externos à organização. Os valores considerados na presente camada são apresentados na figura 19. Protocolos e standards de comunicação são as métricas fundamentais que asseguram a “socialização” operacional de ativos. Qualquer interatividade entre ativos implica a partilha e troca de informação e, deste modo, um certo grau de conectividade. Subjacente às capacidades de conectividade está a interoperabilidade de nível semântico, sintética multilinguagem.

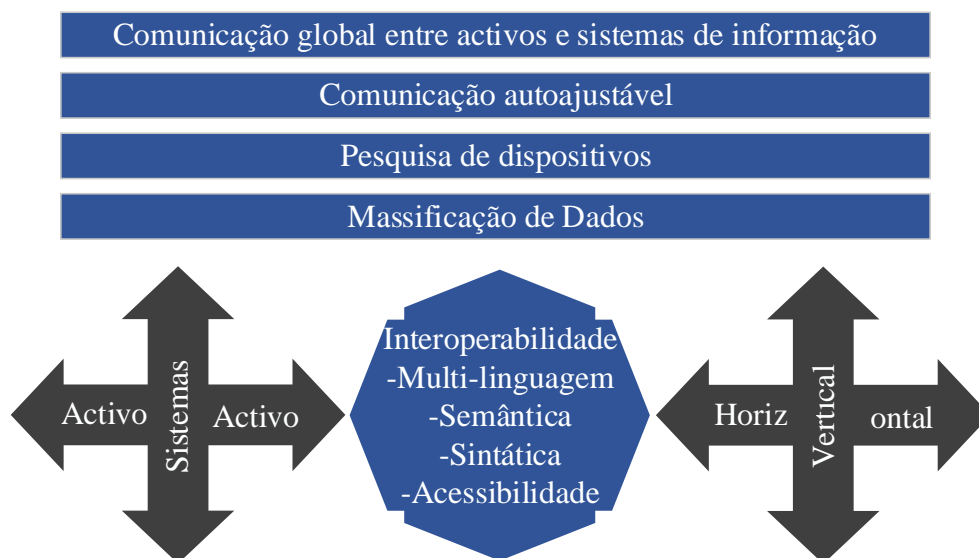


Figura 19 – Valores da camada 2, conectividade global.

O especto sintético diz respeito à compatibilidade “verbal”, à descrição formal das linguagens, em descrever e relacionar a estrutura das mesmas, às formas de programação e, como elementos são relacionados e declarados no código. Protocolos de comunicação

uniformizam e padronização a forma como a comunicação é feita. A interoperabilidade a nível semântico garante a transposição de contexto entre os ativos, tanto com linguagens idênticas ou distintas, especificando o significado ou comportamento de programas. As necessidades de acessibilidade são referentes à construção de canais de informação que se estendem a qualquer vértice da rede de conectividade.

A conectividade global realça a necessidade de se garantir uma conectividade horizontal, entre os ativos do chão de fábrica ou ativos externos à organização e, uma conectividade vertical de ativos a sistemas de informação ao longo do ciclo de vida dos mesmos. Esta democratização no que respeita às competências de conectividade permitem massificar a quantidade de dados gerados e dados partilhados. Massificar presume a necessidade de se dispor localmente de dados relevantes para uma visibilidade e controlo local e, dispor de dados ao nível de sistemas de informação para um controlo e gestão global.

A comunicação autoajustável diz respeito à flexibilidade e adaptabilidade da rede de comunicação através das capacidades de portabilidade de comunicação, em que em qualquer localização os ativos podem comunicar e, da capacidade dos ativos pesquisarem outros ativos que sejam portadores de dados pertinentes.

### **Capacidades Avaliativas da Conectividade Global**

A informação como matéria-prima da I4.0 deve ser encarada como um recurso global, acessível aos diversos elementos das cadeias de valor. Esta globalidade é conseguida através da conectividade entre ativos, sistemas de informação e pessoas criando um *Bus* de informação multidirecional.

A integrabilidade de protocolos é fulcral à condição inata de qualquer comunicação e partilha de dados. Os protocolos são os responsáveis por padronização as regras de sintaxe e semântica e garantir o sincronismo da transferência de dados. A capacidade de integrar diferentes e múltiplos protocolos, dispersos por vezes em tecnologias separadas por décadas de desenvolvimento é uma capacidade central à conectividade. Os ativos devem dispor de capacidades de agregação e compactação de dados de forma a manter um fluxo fluído de dados com os sistemas a que estão conectados.

A portabilidade de capacidades de conectividade dota os ativos de competências de partilha e comunicação de dados, entre si e com sistemas de informação. A necessidade de criar uma rede globalizada envolvendo todos os ativos da organização, implica que os mesmos possam comunicar autonomamente, tanto a nível interno como externo à organização. Essencial à capacidade de portabilidade de conectividade está a descentralização da computação. A portabilidade da conectividade associada à portabilidade da informação faz com que os ativos sejam extensões dos sistemas de informação. Primeiramente, os dados sentidos pelos ativos referentes aos processos circundantes, modos de uso ou condições de operação são reportados para os sistemas de informação. Em segundo lugar, os ativos são elementos que disponibilizam informação, dispondo dados para os seus utilizadores ou para os demais ativos em colaboração. Esta capacidade mune os ativos e os seus utilizadores de um certo nível de autonomia operacional.

A tabela 4 dedica-se à representação das capacidades da camada de conectividade global.

Capacidade Avaliativa	Âmbito
CA2.3	Integrabilidade de protocolos
CA2.2	Portabilidade da Conectividade
CA2.1	Descoberta de dispositivos

Tabela 4 – Capacidades da camada 2, conectividade global.

A descoberta de dispositivos portadores de informação relevante é uma capacidade que confere um certo grau de auto ajustabilidade e dinamismo à rede de ativos global conectada. A descoberta de dados relevantes pode auxiliar a otimização local ao nível do ativo ou ao nível departamental/organizacional nos sistemas de informação. Esta capacidade refere-se também há habilidade em reconhecer e partilhar quais os dados relevantes a partilhar e a importar, os canais de comunicação a utilizar e condições de segurança a estabelecer entre a comunicação, colaboração e emparelhamento de ativos.

#### 4.2.4. Camada 3 – Informatização

##### Valores informacionais

A camada de integração físico-digital e de conectividade global prendem-se com a massificação de dados, com a convergência da informação física em informação digital, e o seu inverso, transformando a informação digital em ações aplicadas ao mundo físico. A criação e partilha de dados são fases de um processo de sistematização da informação necessárias à massificação e representatividade digital da organização. Os dados recolhidos requerem de tratamento, contextualização e estruturação, avaliando a sua integridade para os tornar parte integrante dos sistemas de informação. Deste modo, as capacidades de análise de dados, tratamento, conversão de formatos são materializadas nesta camada. A camada de informatização abrange também as capacidades de análise dos eventos físicos e digitais, na extração de informações quanto às suas causas, relações, padrões comportamentais e parâmetros influentes, descortinando e tornando “translúcida” a realidade organizacional. É na camada de informatização que ocorre o tratamento massivo da matéria-prima informação, tornando-a apta para os diversos sistemas de informação e ativos, internos e externos. O *Digital Twin* enquanto representação virtual da organização é materializado na camada de informatização.

No que respeita aos valores da presente camada, figura 20, o valor extensão dos sistemas de informação aos ativos, é conseguido através das capacidades descritas nas camadas anteriores. Aprofundando este valor, o conceito de *Digital Twin* tem subjacente a representatividade digital de processos e ativos. A portabilidade de informação e da capacidade de computação faz com que os ativos sejam portadores do seu próprio *Digital Twin*, da sua representação virtual. A representação virtual de um ativo contém informações referentes às suas necessidades, condições e limitações de operação, referindo-se também a necessidades de comunicação, identificação, meta-dados ou condições de integrabilidade. O *Digital Twin* da organização como um todo, composto por as diversas representações virtuais dos ativos e da sua integração com sistemas de informação. É de referir que as representações virtuais dos ativos podem estar alojadas nos próprios ativos, mas também podem estar em bases de dados centrais.

A interoperabilidade enquanto força motriz da integração entre sistemas e ativos é também um valor central a esta camada.

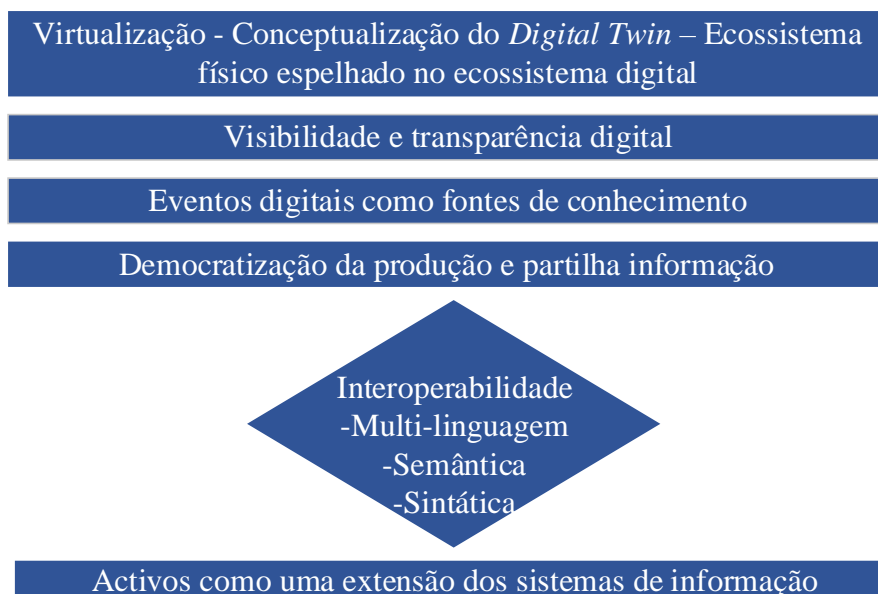


Figura 20 – Valores da camada 4 – informatização.

O valor de democratização da produção e partilha da informação é referente a capacidades de tratamento e disponibilização de dados localmente ao nível do ativo. A capacidade de interatividade entre ativos através de interfaces, descrita na camada 1, tem intrínseca a necessidade de gerar dados que descrevam estados de funcionamento e estado dos processos. Deste modo, os ativos têm de estar munidos de competências que os permitam tratar e gerar dados interpretáveis ao humano, de suporte à decisão. É neste contexto que se define a democratização da produção da informação como um valor central à presente camada. O tratamento local de informação é também relevante para as necessidades de colaboração entre ativos quando os mesmos não estão conectados a um sistema de informação comum.

A democratização da informação no contexto da partilha, refere-se à necessidade de descrever virtualmente o ecossistema físico. Quanto mais ativos estiverem virtualizados e a partilharem dados com os sistemas de análise, mais descritivo é o *Digital Twin* e consequentemente, mais fidedignos são as análises comportamentais e de padrões determinadas. Mediante o descrito, a democratização da informação é um valor bidirecional no sentido em que está construído sobre a necessidade de visibilidade glocal, da perspetiva do ativo, e de visibilidade global da perspetiva do *Digital Twin*.

Os eventos que ocorrem no ecossistema digital são uma representação virtual dos eventos no ecossistema físico. Estes factos virtuais representam comportamentos ou

resultados comportamentais da organização. A análise destes eventos, no que concerne à compreensão das suas origens, parâmetros de influência e consequências, permite conhecer a realidade operacional da organização. O descortino do modo e forma de interações dos eventos na organização constitui-se como uma forma de conhecimento. Conhecer a realidade organizacional e construir um *Digital Twin* que a espelhe, obriga ao relacionamento de diversos tipos de informação em diversos âmbitos e com vários fins, sendo neste sentido que os eventos digitais se definem como uma fonte de conhecimento. Capacidades de análise de dados e compreensão histórica dos mesmos são capacidades necessárias.

A construção de um *Digital Twin* representativo do ecossistema físico, representando a verdade organizacional permite vislumbrar e classificar estados e modos de funcionamento tanto de ativos como de processos conferindo visibilidade às necessidades de controlo e decisão. Capacidades de integração de informações entre sistemas, entre ativos extraíndo os dados relevantes são capacidade centrais. A capacidade de conhecer o porquê, por quem e como, descrevendo as origens e relações entre eventos, parâmetros e causas, confere transparência ao *Digital Twin*.

### **Capacidades Avaliativas informacionais**

A informação como matéria-prima só tem valor se permitir interpretar um evento ou o estado de um ativo e se estiver acessível aos agentes decisores, humanos ou digitais. As capacidades de análise de dados, de os tratar, estruturar e triar são necessárias para que os mesmos possam ser utilizados. Estas capacidades garantem a interoperabilidade entre sistemas e ativos necessárias à visibilidade e transparência digital como suporte à tomada de decisões. A capacidade de análise refere-se também às competências em tratar elevados volumes de dados.

A democratização da informação conduz à necessidade de tratar mais informação por segundo. Estes caudais informativos são processados em tempo real através de ferramentas e algoritmos de análise. O resultado da análise e tratamento dos dados resulta na informação interpretável para os sistemas e ativos, contextualizáveis no espaço digital e no tempo. A contextualização da informação depende do âmbito das análises. Deste modo, as ferramentas de análise não estão direcionadas somente para o tratamento dos dados enquanto integridade digital, mas também para a análise contextual, semântica e

do enquadramento técnico. Contextualizar a informação é posicioná-la no espectro digital do ecossistema virtual, tanto para as necessidades de análise de eventos (determinar causas, identificar padrões) como para as necessidades de descrição do ecossistema físico (descrever o estado dos processos, monitorização do funcionamento dos ativos, relações de causa efeito).

A democratização da informação pressupõe a descentralização da informação, tanto ao nível da sua criação, manuseamento e interpretação. Descentralizar a informação consiste em torna-la acessível, usável, entendível e informatizada tanto para ativos como para pessoas. A rede conectada de ativos e pessoas só é funcional caso a informação que os norteie esteja disponível com a objetividade necessária, mas também com as necessidades de usabilidade e integrabilidade.

Na tabela 5 faz se referência às capacidades da camada 3, informatização.

Capacidade Avaliativa	Âmbito
CA3.3	Análise de Dados
CA3.2	Virtualização Organizacional
CA3.1	Conceção de Conhecimento

Tabela 5 – Capacidades da camada 3 – informatização.

A capacidade de virtualização organizacional diz respeito à construção estruturada e colaborativa de todos os seus artefactos digitais e sistemas constituindo o *Digital Twin*. A representação digital de um ativo, o artefacto digital, pertence ao *Digital Twin*. A virtualização organizacional, o *Digital Twin*, é materializado através da troca fluída de informação entre sistemas e ativos, de uma forma sistémica e permanente. Um artefacto digital contém toda a informação do ativo, as suas características operacionais, a sua performance em tempo real, necessidades de conectividade como protocolos de comunicação, histórico e meta-dados, construindo uma representação integral do mesmo. Há a necessidade de posicionar todos os artefactos no ecossistema digital, relacioná-los entre si e integrá-los com os sistemas de informação, definindo as dependências e formas como se influenciam espelhando o que ocorre no ecossistema físico. Capacidades de análise de informação, compreensão das suas dependências, relacionar eventos físicos, as suas formas de interatividade são os elementos construtores do *Digital Twin*.

A capacidade de conceção do conhecimento é referente à extração de informação latente, descritiva e relevante, mas que não é aparente ou manifestável. É requerida primeira a análise das interações entre eventos de forma a identificar o nível de influência e relações de causa efeito. É fulcral para esta capacidade que os dados em análise permitam ter uma interpretação global. Os resultados do conhecimento gerado são referentes à identificação de padrões e tendências, relações entre modos de falha e modos de uso de ativos e qualquer identificação entre as relações de causa efeito dos eventos digitais. Por último, a capacidade de conceção de conhecimento abarca a necessidade de se confrontar entre o conhecimento intercetado e factos digitais para a sua validação. O conhecimento criado é transposto a sistemas de informação para apoio á análise e decisão.

#### **4.2.5. Camada 4 – Fusão Físico-Digital**

##### **Valores da Fusão Físico-Digital**

As camadas 1, 2 e 3 detêm as capacidades necessárias à integração vertical de ativos físicos e sistemas de informação, estabelecendo-se na rede de comunicação físico-digital, construindo uma interpretação digital do mundo físico e a preparação da informação para que sistemas e ativos possam interagir entre si. Neste seguimento, o primeiro valor constituinte desta camada refere-se às necessidades de tornar o mundo digital interpretável para o humano, figura 21. A representação virtual tanto de ativos e sistemas tem de estar formalizada e integrada nos sistemas de informação, cujas interfaces são interpretáveis por humanos. Estados de funcionamento, problemas operacionais, performance de ativos têm de estar descritas nos sistemas de informação ou plataformas de controlo e gestão construindo as necessidades à visibilidade operacional da organização. A representação dos ativos nos sistemas de informação estende-se à forma como interagem entre si, caracterização das suas relações de causa efeito, consequências entre parâmetros processuais e performance tornando o ecossistema físico organizacional translúcido através da sua representação digital. Deste modo, sistemas de informação e plataformas de controlo e gestão são as janelas de penetração digital para o humano. Neste sentido, uma representação digital fidedigna do ecossistema físico é uma condição obrigatória e central.

O conceito de visibilidade não se limita às fronteiras organizacionais. A construção de um ecossistema digital organizacional, interpretável aos demais sistemas da cadeia de valor, permite a comunicação entre ativos externos à organização e à integração de sistemas de informação com os parceiros das cadeias de valor. Deste modo, partes do *Digital Twin* (como a representação digital do estado de funcionamento de ativos, estado de processos) serão partilhadas e integradas com os diversos parceiros das cadeias de valor construído uma cooperação digital.

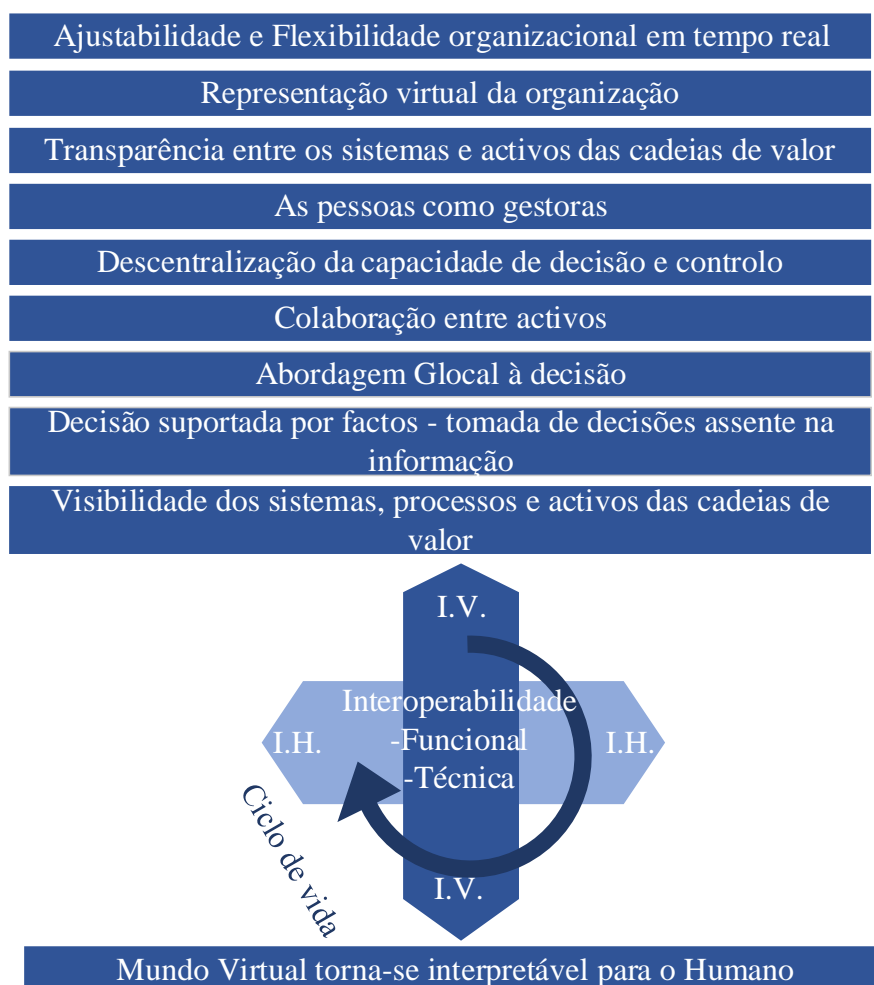


Figura 21 – Valores da camada 4 – Fusão físico-Digital.

As organizações digitais, inseridas no paradigma I4.0, são caracterizadas pela sua elevada flexibilidade de adaptação às alterações do ecossistema operativo. A flexibilidade é caracterizada por um sistema de decisão descentralizada e, por capacidades de decisão local que ocorrem em tempo real. A descentralização da decisão pressupõe a ideia de que os ativos que agem sobre a cadeia de valor ou os humanos decidam localmente, sobre a

sua área de atuação, condicionando o meio envolvente. A ideia subjacente à capacidade de decisão local está em poder tomar as decisões o mais próximo possível dos sistemas e ativos em que estas têm impacto. A capacidade de decisão está assente em dados e informações que modelam o meio envolvente, compreensíveis para os elementos decisores. Há deste modo que disponibilizar a informação em formatos e em meios que permitam perceber a informação. As capacidades de interface com o humano definidas na camada 1 suportam as necessidades de decisão. A caracterização do meio envolvente requer de informação proveniente dos sistemas inferiores, sensores e atuadores, e também de informação proveniente de sistemas superiores nos quais se tem uma visão global do estado operacional das cadeias de valor. A disponibilização de dados dos sistemas superiores permite ter visibilidade global num local da cadeia de valor em tempo real, permitindo tomar uma decisão suportada numa perspetiva global. Este conceito de decisão é definido como decisão glocal. Esta perspetiva global integra não só a cadeia de valor interorganização, mas também a extraorganização.

Paralelamente à construção do sistema de decisão glocal, está a construção de um sistema assente em factos organizacionais. Os sistemas de informação e plataformas são a explanação da verdade organizacional e são a partir destes que as análises e consequentes decisões são formadas.

A descentralização da capacidade de decisão conduz à descentralização da necessidade de interpretação, análise e compreensão da forma como os objetivos locais devem ser materializados, como devem ser priorizados, quais as dependências entre eles de forma a atingir os objetivos globais. Deste modo, o papel do humano nas cadeias de valor no contexto da I4.0 converge no sentido de operador/executor para gestor/coordenador. A descentralização do poder de decisão requer primeiramente da descentralização da capacidade de gestão por parte das pessoas. Existe deste modo a necessidade de gerir informação relacionando-a com os respetivos eventos físicos, compreensão técnica da forma de funcionamento dos sistemas de informação de uma forma generalizada e a compreensão técnica dos processos em que estão envolvidas. As interfaces de informação, controlo e operação de ativos e processos, devem ser direcionadas para as pessoas, interativas, fáceis de operar dedicadas à interpretação local dos dados.

A camada 4, informatização, trata e estrutura a informação de forma a que possa ser integrada em sistemas de informação. No que respeita aos ativos, a representação

virtual dos mesmos através dos seus artefactos digitais é fulcral para a sua interatividade com os demais ativos ou sistemas. A integração horizontal que caracteriza a I4.0 pressupõe as capacidades de interação entre sistemas de informação, tanto internos como externos à organização, a integração de serviços de internet que se estendem aos parceiros e clientes das cadeias de valor, mas também à colaboração entre ativos e entre ativos e pessoas. A colaboração entre ativos ocorre através da interação dos seus artefactos digitais ao longo da rede de conectividade, tanto numa direção vertical (desde ativos de controlo a estações e linhas de produção) como na direção horizontal (interação máquina-máquina, interação dispositivo de controlo internos e externos à organização) influenciando-se mutuamente.

O valor referente à ajustabilidade e flexibilidade organizacional em tempo real é referente às capacidades que permitem gerir e otimizar o ecossistema digital e físico em tempo real. As capacidades referentes à descentralização da decisão e gestão aliadas à conectividade com os ativos físicos permite um ajuste dos mesmos desde os sistemas de informação em tempo real.

### **Capacidades Avaliativas da Fusão Físico-Digital**

A capacidade de representação virtual é relativa à construção de sistemas e interfaces dedicadas de interpretação do ecossistema digital para o humano. Em boa verdade, constitui-se como a representação decifrável do *Digital Twin* para o Humano. A necessidade de gerir e interpretar quantidades de informação massivas requer de sistemas de informação *friendly user* e que possibilitem a simulação funcional da organização e dos seus ativos. Paralelamente, capacidades de imersão suportam o humano na sua envolvimento com o ecossistema físico e digital, proporcionando uma rápida experimentação de cenários hipotéticos ou de controlo e monitorização do estado das operações.

A representação virtual pretende aproximar e integrar o humano no ecossistema digital e integrar e projetar dados digitais no ecossistema físico. As capacidades da presente camada são apresentadas na tabela 5.

Capacidade Avaliativa	Âmbito
CA4.5	Representação virtual
CA4.4	Gestão através dos artefactos digitais
CA4.3	Colaboração entre ativos
CA4.2	Colaboração entre sistemas
CA4.1	Gestão automática

Tabela 6 – Capacidades da camada 4 – Fusão físico-Digital.

De forma a materializar os valores descritos na presente camada, capacidades afetas à representatividade digital dos ativos e processos físicos são centrais à presente camada. A capacidade de gestão através dos artefactos digitais é referente à utilização dos dados formalizados na camada de informatização para monitorização e controlo dos ativos físicos. Para isso é necessário integrar os dados virtuais referentes aos ativos nos sistemas de informação ou de plataformas dedicadas ao controlo. A integração dos dados nos sistemas de informação permite monitorizar o estado de funcionamento, nível de falhas, configuração, alertas e estados de preservação dos ativos. Inversamente, a capacidade de integrar os dados dos sistemas nos ativos permite o seu controlo e ajuste remoto. O controlo automático entre os sistemas de informação e os ativos físicos é um dos objetivos finais desta capacidade.

A utilização do artefacto digital não se limita ao controlo e gestão interna. A capacidade de colaboração tem como recurso os artefactos digitais na construção da “rede social” de ativos e sistemas. A interoperabilidade semântica, sintética, técnica e funcional construída na camada 3 está subjacente a esta capacidade. A cooperação entre ativos é dimensionada mediante as necessidades globais definidas nos sistemas e as necessidades locais “sentidas”, ou provenientes da interação entre os ativos e os seus utilizadores. Para o fazer esta capacidade dedica-se à definição e estruturação das regras, lógicas, sequências e prioridades da cooperação dos ativos definido a forma como se comportam nos diversos cenários operacionais. Estas regras e lógicas são a “cultura” digital do *modus operandi* dos ativos. A capacidade de colaboração é extensível aos ativos externos à organização com recurso às capacidades definidas nas camadas inferiores do modelo

nomeadamente a portabilidade de informação, portabilidade de conectividade e pesquisa de dispositivos.

A capacidade de colaboração estende-se além dos ativos. A colaboração entre organizações tem como objeto colaborativo o *Digital Twin* integrando os sistemas, plataformas e serviços de informação que o constituem. Deste modo, partes do *Digital Twin*, além dos artefactos digitais dos ativos físicos descritos no parágrafo anterior, serão partilhados entre os diversos intervenientes das cadeias de valor.

No que respeita a capacidade de controlo automático, algoritmos e serviços de autocontrolo agem sobre o *Digital Twin* de forma a configurar os ativos e fluxos de informação, coordenando-os e direccionando-os para os objetivos globais. Paralelamente, algoritmos e serviços otimizam as interações entre ativos mediante necessidades e objetivos locais, identificando ineficiências, sugerindo melhorias de uso, da configuração de ativos e do uso e consumo energético.

## 5. Componente Avaliativa – Contexto Digital da Organização

### 5.1. Abordagem Construtiva

As organizações como “organismos” multiagente, compostos por pessoas, máquinas, informação, recursos energéticos, recursos materiais, integram uma rede de processos internos e externos que interagem com os diversos atores das cadeias de valor, desde fornecedores a clientes, gerando produtos físicos e serviços. Este compêndio multidisciplinar de áreas de atuação conduz à necessidade de se estratificar e definir limites à avaliação organizacional, no que respeita à gestão das operações.

Dada a abrangência dos conceitos subjacentes à I4.0, aliada à complexidade de se avaliar de forma concreta os sistemas organizacionais no contexto da gestão das operações, é central neste ponto definir as linhas orientadoras, gerais à abordagem construtiva da componente avaliativa. As linhas orientadoras são:

- A primeira é referente à construção de uma abordagem de progressão digital. A abordagem progressiva do modelo permite interpretar qual a sequência de necessidade de integração digital e, de que forma é que as interações digitais devem ser construídas internamente e externamente. Assuma-se a relação entre integração horizontal e integração vertical. A capacidade de um ativo físico estar conectado e “materializado” virtualmente (qualificar digitalmente o seu estado funcional, configuração, performance, etc.) requer primeiramente da necessidade de se criar uma sensibilidade e conectividade digital integrando os dados pertinentes em sistemas de informação. Estas capacidades pertencentes ao estrato da integração vertical são a primeira abordagem à digitalização de ativos. Somente após a integração digital dos ativos é que os mesmos podem interagir entre si e com outros sistemas de informação, capacidades estas que pertencem à integração horizontal. É de importância construir-se o modelo numa perspectiva progressiva de forma a posicionar a avaliação do nível de digitalização numa escala interpretativa.
- A segunda condição diz respeito à construção do modelo numa perspectiva de dependências, em que para satisfazer o nível seguinte um conjunto de características mínimas do nível avaliativo que se está a avaliar deve ser satisfeito.

Esta abordagem permite definir pareceres avaliativos das debilidades e carências digitais em cada patamar de digitalização endereçando as suas origens. É este espectro de lacunas que permitirá à organização avaliada interpretar quais as suas lacunas e mapear necessidades de implementação.

A construção e estratificação dos níveis avaliativos foi realizado considerando as direções de integração da I4.0, IV, IH, ICV, dado que a componente estrutural está alinhada com as mesmas e, o cariz progressivo de avaliação pretendido para o modelo.

Os limites de avaliação estão dispostos em 3 níveis avaliativos em que cada nível avalia as condições de operação digital da organização através dos seus objetos centrais, os ativos, as pessoas e a informação. O nível de digitalização mais baixo, operação digital, dedica-se à IV da informação dos ativos internos à organização. O segundo nível, gestão digital das operações, dedica-se à IH da cadeia de valor interna à organização, abordando a interação entre sistemas de informação e entre ativos. O terceiro nível, ecossistema digital dedica-se à integração de toda a cadeia de valor, do ciclo de vida e da relação digital da organização com os diversos elementos do ecossistema organizacional. Cada nível de avaliação apura a proficiência digital da organização na gestão e controlo da sua operacionalidade através das capacidades avaliativas. As capacidades avaliativas estão dispersas e posicionadas ao longo dos níveis de avaliação, permitindo perceber quais as debilidades e necessidades de digitalização.

Cada nível avaliativo diz respeito a um conjunto de competências necessárias à operação digital da organização. Estas competências digitais estão organizadas em dimensões avaliativas e são o *output* da componente avaliativa.

### **5.1.1. Níveis avaliativos**

A avaliação do grau de digitalização organizacional é feito ao longo de 3 níveis avaliativos, tabela 6. O primeiro nível dedica-se em garantir a integração digital dos ativos, do seu controlo e manuseamento, denominada operação digital. Este nível tem a finalidade de garantir uma conexão digital entre os ativos e os seus utilizadores/operadores e dos ativos com os sistemas de informação. A integração digital entre os operadores/utilizadores objetiva o dinamismo na operação, visibilidade local e, controlo e adaptabilidade de parâmetros funcionais de processos e de ativos. A

conectividade entre o chão de fábrica e os órgãos e sistemas de controlo organizacionais tem o objetivo de migrar a realidade das operações para o meio digital, descortinando e espelhando informação relevante para o controlo e operação. A informação é verticalizada digitalmente entre ativos físicos e os sistemas táticos de controlo departamental. Este primeiro nível tem o objetivo de “mestastizar” a informação da envolvente física com o operador e com os sistemas de apoio à decisão permitindo representar digitalmente os ativos do meio físico.

Nível Avaliativo	Denominação
1	Operação Digital
2	Gestão Digital das operações
3	Ecosistema Digital

Tabela 7 – Níveis Avaliativos.

O segundo nível é dedicado à avaliação das competências de gestão digital das operações ao nível sistema. A integração neste nível é avaliada na direção horizontal, nas competências de conectar sistemas de diferentes departamentos e de conectar ativos entre si para uma colaboração *cross-functional* e cross-departamental. Transparência operacional, descentralização informacional, visibilidade nas duas direções vertical e horizontal da verdade organizacional e, ajustabilidade em tempo real dos ativos, são condições subjacentes ao nível de gestão digital das operações. No que respeita ao papel das pessoas, é feita a avaliação na perspetiva de gestor digital em que as tarefas e as decisões são suportadas por meios e factos digitais.

A organização enquanto elemento pertencente às várias cadeias de valor em que está inserida, interage com diversos fornecedores, distribuidores, entidades legais, reguladoras e clientes centrais e necessários à sua catividade. Com a finalidade de tornar as organizações permeáveis às necessidades, novos produtos/serviços ou quaisquer condições necessárias, existe a necessidade de construir uma interoperabilidade fluída e objetiva entre si. Deste modo, a camada terceira, denominada ecossistema digital, avalia o quão digital são as interações entre a organização e o meio envolvente. Além de uma avaliação dedicada à horizontalidade da partilha da informação entre os parceiros das cadeias de valor, a gestão digital do ciclo de vida é também abordada no nível 3. É avaliado deste modo a proximidade com os utilizadores “sentindo” as suas necessidades

e feedbacks, definindo-se as condições de alteração ao produto/serviços ou suas formas produtivas.

A construção da transparência digital interna e externa à organização, associada à conectividade global de ativos e sistemas permite construir a realidade da organização, do estado do seu ecossistema e, simultaneamente, permitir uma ajustabilidade flexível e dinâmica às variabilidades e necessidades das operações proveniente de clientes, parceiros, da comunidade ou necessidades internas. Esta representatividade digital, permite o descortinar da “morfologia comportamental”, relações de causas e efeitos, graus de dependência de eventos ocorridos na organização, nas respetivas cadeias de valor com as que interage. Estes dados são a génese da construção de previsões e de tendências, cujo objetivo é antecipar realidades, consequências e ineficiências.

Enquanto que os dois primeiros níveis se dedicam à aumento das pessoas nos sistemas digitais, posicionando-as no centro da organização, o terceiro nível parte para um contexto totalmente descentralizado, em que os sistemas digitais convergem para uma autonomia de autocontrolo, previsibilidade, aprendizagem e adaptação em tempo real em que as pessoas transitam de um papel de operadores ou gestores para um papel de coordenadores e de últimos decisores num sistema em continua otimização.

Diversos poderiam ter sido os caminhos, segmentos e objetivos de cada abordagem interpretativa a desenvolver para o presente modelo. Deste modo, é de referir que o autor define as pessoas como os elementos funcionais centrais das organizações, são a sua razão, propósito e blocos construtores num mundo de pessoas para pessoas. Deste modo, considerou-se importante a necessidade de destacar as necessidades e condições para a integração digital das pessoas numa posição intermédia entre o meio físico e digital. Paralelamente, a gestão digital tem subjacente a materialização da integração vertical, considerada pelo autor como o primeiro nível de integração a construir num sistema digital. É considerado que há primeiramente que elevar um ativo físico a artefacto digital, espelhando digitalmente as suas condições de operação, estados e necessidades para em seguida o poder conectar com os demais artefactos digitais ou sistemas de informação. Estas considerações são assumidas na operação digital. A gestão digital das operações dedica-se ao papel das pessoas como elementos de coordenação, controlo e decisão mais global, coordenando os diversos ativos físicos, a forma como se relacionam através da sua representação digital nos sistemas relações digitais entre os diversos artefactos digitais que espelham o meio físico. É nesta dimensão que se

materializa a integração horizontal, suportada na integração vertical da operação digital. A última dimensão, ecossistema digital, dedica-se à integração total entre os diversos elementos, ativos, pessoas e sistemas do ecossistema, elevando as pessoas a coordenadores globais de sistema autoajustáveis.

## **5.2. Metodologia construtiva da Componente Avaliativa**

### **5.2.1. Objetos Avaliativos**

O modelo de avaliação desenvolvido no presente trabalho tem como objetos de desenvolvimento as pessoas, ativos e informações. Estes objetos são os elementos em torno dos quais as capacidades avaliativas da componente estrutural se posicionam, de forma a estruturar as capacidades e condições particulares dos sistemas digitais da I4.0. Estes objetos são considerados os elementos centrais ao funcionamento operacional de uma organização.

A utilização dos mesmos objetos nas duas componentes pretende simplificar o seu relacionamento e integração, com o intuito de migrar do contexto conceptual da componente estrutural para a componente contextual e de aplicação da componente avaliativa. Enquanto que a componente estrutural foca as competências digitais que os objetos devem possuir, a componente avaliativa define os contextos e áreas de atuação nas operações de cada objeto.

### **5.2.2. Áreas Avaliativas – A contextualização operacional dos objetos**

A introdução dos agentes tecnológicos da I4.0 e de uma cultura direcionada para as necessidades digitais conferem à organização um conjunto de competências que atuam diretamente sobre os objetos, ativos, pessoas e informação. É deste modo central definir o conjunto de áreas consideradas centrais ao funcionamento operacional das organizações de forma a particularizar e a contextualizar o impacto que os agentes tecnológicos e a adoção de uma cultura digital têm. Os objetos do modelo são pontos de ancoragem permitindo construir contextos interpretativos, mas, dada a sua subjetividade e em contrapartida a necessidade de construir contextos concretos na componente avaliativa, é necessário definir áreas específicas a cada objeto que se pretende avaliar. Estas áreas

permitem definir objetivamente condições e relações de atuação de cada objeto para as operações, tanto no contexto da gestão, controle ou da própria execução. As áreas consideradas para cada objeto são apresentadas na figura 22.

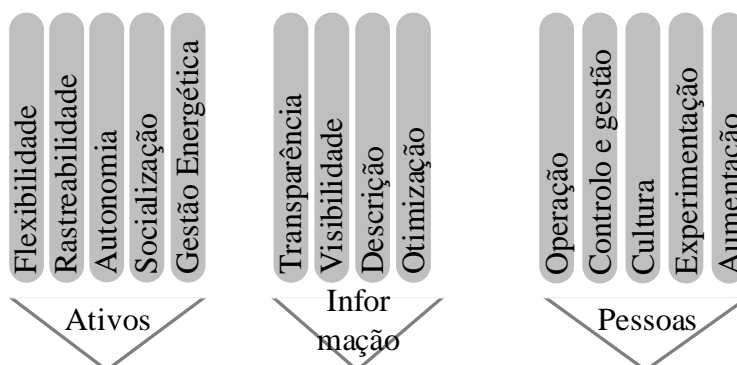


Figura 22 – Áreas de avaliação por objeto.

### **Flexibilidade**

Diz respeito ao contexto de rápida ajustabilidade por parte dos ativos do que são as necessidades das operações através de competências digitais. Abrange a interação máquinas operador, máquina-sistema ou a máquina-meio envolvente na medida em que as máquinas (uma das classes de ativos como exemplo), dispõem dos recursos e meios digitais à ajustabilidade requerida. Estas necessidades podem advir tanto de uma necessidade local como de uma necessidade mais remota, de um sistema de informação ou de outro qualquer ativo em colaboração. Deste modo, a flexibilidade abrange também a capacidade dos ativos se adaptarem mutuamente entre si ou com sistemas de informação, mediante as necessidades das operações, através de uma interação digital, automatizada e continuamente cooperante.

### **Rastreabilidade**

A área da rastreabilidade é analisada de duas perspetivas no contexto digital das operações. A primeira perspetiva diz respeito à necessidade de controlar e gerir digitalmente em cada instante os ativos. Dado o aumento crescente das cadeias de valor e da dispersão dos canais das mesmas, ou da necessidade de gerir um conjunto crescente de produtos e de processos, é de extrema importância construir digitalmente em cada instante o quadro de localizações de cada ativo. A segunda perspetiva diz respeito às

necessidades da construção da verdade organizacional. A capacidade de rastrear os ativos, de descortinar o seu percurso e investigar particularidades dos processos em que esteve, permite construir a verdade organizacional necessária à estruturação de padrões e formas concretas dos comportamentos operacionais. A capacidade de rastrear inícios e fins de operação, número de *outputs* por minuto ou taxas de ocupação. Enquanto que para a gestão física do ativo a rastreabilidade digital incide essencialmente sobre a gestão da sua localização, ao nível da informação, a rastreabilidade é essencial para a visibilidade, transparência ou virtualização das operações.

### **Autonomia**

A construção de um sistema operacional adaptativo exige um certo nível de autonomia tanto a nível local como a nível sistémico. A autonomia enquanto área avaliativa diz respeito à capacidade de máquinas, produtos ou equipamentos (classes de ativos) em gerirem, controlarem ou modificarem autonomamente através de competências digitais, sequências de operação, prioridades de consumo de recursos, requisições automáticas ao stock ou desativação de outros ativos. Ao nível local, a autonomia diz respeito às capacidades digitais dos ativos em agirem sobre o meio físico através das suas capacidades locais de interpretação e decisão. Ao nível sistémico, a autonomia diz respeito às capacidades dos sistemas ou às capacidades máquina-máquina de ajustarem os processos do meio digital, definindo-se globalmente o que deve ser ajustado e como se deve aplicar localmente, para cada ativo, para que essa alteração se materialize.

### **Socialização**

À medida que as fronteiras das organizações se vão diluindo com as necessidades de permeabilidade de informação proveniente do ecossistema externo, é de todo importante que informação pertinente para o controlo e gestão das operações seja introduzida nos ativos de forma a que atividades e processos sejam ajustados à realidade organizacional. Deste modo, a área da socialização tem como objetivo avaliar as capacidades digitais de ajustabilidade da rede de ativos ou da rede sistemas, em partilhar dados de processos de áreas operacionais distintas, das capacidades dos ativos em se

emparelharem e partilharem dados importantes para a autonomia local e sistémica. Enquanto que a área da autonomia está dedicada à avaliação das capacidades de autogestão digitais, a área da socialização está dedicada à área de ampliação da colaboração digital, que pode ser autónoma entre ativos ou pré-programada. Enquanto que a colaboração de dedica em explorar a conetividade entre uma rede conhecida e estabelecida de máquinas, sistemas ou serviços, a área da socialização foca-se em avaliar o quão digital são as capacidades dos sistemas de operação em alargar o número de colaborações, de partilha de dados, tanto internamente como externamente à organização. Dado que que as operações se desenvolvem em CV cada vez mais mutáveis, que podem ocorrer dentro e fora da organização, é importante conferir aos ativos capacidades de auto relacionamento de forma a garantir a continuidade da informação.

### **Gestão Energética**

A área da gestão energética propõe-se em posicionar a avaliação para o que são as preocupações e necessidades de gerir e coordenar consumos e modos de alocação de energia no decorrer das atividades dos ativos. Com a necessidade premente de construir sistemas produtivos mais eficientes, a gestão otimizada de energia é nuclear à operacionalidade organizacional.

### **Visibilidade e Transparência**

A construção da realidade organizacional está assente essencialmente entre duas áreas centrais, a visibilidade e a transparência. A visibilidade permite ver o estado atual das operações, dos seus processos e dos recursos envolvidos nos mesmos enquanto que a transparência permite ver o porquê e origem dos resultados que caracterizam o estado atual. No contexto da gestão das operações, tanto a informação referente à visibilidade como transparência dizem respeito à capacidade de aferir e analisar digitalmente parâmetros dos processos, níveis de não qualidade, requisitos operacionais particulares ou interpretar as causas latentes a uma anomalia numa máquina ou num produto.

## **Descrição**

Dado que as pessoas são os elementos de decisão e análise centrais do funcionamento operacional, a informação deve estar estruturada e construída tanto para necessidades imediatas de interpretação de ativos e processos como para as necessidades táticas dos coordenadores e gestores que assumem o planeamento e coordenação das atividades. Deste modo, o nível de descrição e adequação da informação para pessoas com diferentes *timings* de interpretação ou diferentes volumes e complexidade de dados deve estar ajustado.

## **Otimização**

Dada o grau de complexidade entre as diversas atividades e recursos envolvidos nas operações organizacionais, as necessidades de contruir planeamentos adequados e otimizados é um dos papeis centrais dos gestores de operações. Contudo, as dificuldades em analisar todas as variáveis e compatibilizá-las numa análise de planeamento é um desafio para as pessoas. Deste modo, as capacidades autónomas dos sistemas de informação em definir sequências de entrada em produção, *timings* para aquisição de recursos ou prever taxas de ocupação dos ativos suportam as pessoas nas suas análises e considerações para a definição de planeamentos otimizados. Otimizar consumos de materiais, tempos de ocupação de ativos ou balancear linhas de produção (*tack time*) são algumas das tarefas centrais dos gestores de operações.

## **Operação**

Área referente ao uso, configuração, ativação e interação digital dos ativos por parte das pessoas. Diz respeito à interação humano-máquina e humano sistema na execução de tarefas no decorrer das operações da organização. As pessoas são elementos decisores e coordenadores, mas são também os elementos que operam ativos e sistemas.

## **Controlo e Gestão**

Diz respeito às tarefas de coordenação, planeamento e implementação das decisões, autonomia na decisão ou na interpretação do meio físico e digital.

## **Cultura**

Área dedicada ao posicionamento dos comportamentos que se devem materializar de forma a constituir uma cultura digital necessária à gestão digital de ativos e sistemas de informação. Diz respeito à importância que as pessoas dão ao tratamento e encaminhamento da informação nos sistemas (há que operar ativos e realizar tarefas afetas aos produtos e serviços, mas existe em simultâneo a necessidade de alimentar os sistemas digitais), à forma como encaram as necessidades dos sistemas digitais, a adaptabilidade a novas tecnologias, a aceitação das tecnologias como recursos de suporte.

## **Experimentação**

A experimentação operacional é referente às capacidades das pessoas em testarem, simularem e interpretarem os cenários hipotéticos ou os resultados das suas decisões de forma mais envolvente. A necessidade de gerir diferentes ativos e sistemas de informação no âmbito da gestão das operações conduz a que as pessoas tenham de estar em simultâneo envolvidas em diversos contextos organizacionais, a gerir e a operar diversos ativos ou diversos sistemas. Deste modo, experienciar o efeito das decisões nos resultados de processos e ativos permite às pessoas um nível de envolvimento superior na realidade operacional suportando a tomada de decisões, de intensificar a análise e interpretação de dados. Tornar mensurável os resultados de decisões ao nível do funcionamento dos ativos ou na performance de processos permite não só avaliar os níveis de gestão e controlo, mas também construir um sistema de aprendizagem para as pessoas.

## **Aumentação**

Área de avaliação afeta à aumento dos modos e intensidade de interação das pessoas com os ativos e sistemas no decorrer das suas ações e tarefas. Enquanto que a

experimentação é referente à intensificação de resultados, aumentação diz respeito à extensão das capacidades e características humanas, tanto na operação de ativos através de movimentos ou na construção de cenários digitais que permitam intensificar a análise e interpretação que as pessoas têm sobre o estado das operações.

### 5.2.3. Direções de avaliação

Cada nível avaliativo é composto diversos vetores diretores específicos de cada objeto. Enquanto que as áreas definem o que avaliar, a cada nível de avaliação fica incumbido de definir o contexto, amplitude e objetividade da avaliação através de linhas diretoras. Estas linhas diretoras são definidas como os *guidelines* para o que se pretende da avaliação, definindo-se no presente modelo como vetores diretores. É a combinação destes vetores diretores com as áreas de avaliação que corporiza a metodologia para a definição das dimensões de avaliação. A figura 23 tem como objetivo relacionar o que avaliar (áreas de avaliação) e como avaliar, qual o contexto (vetores diretores).

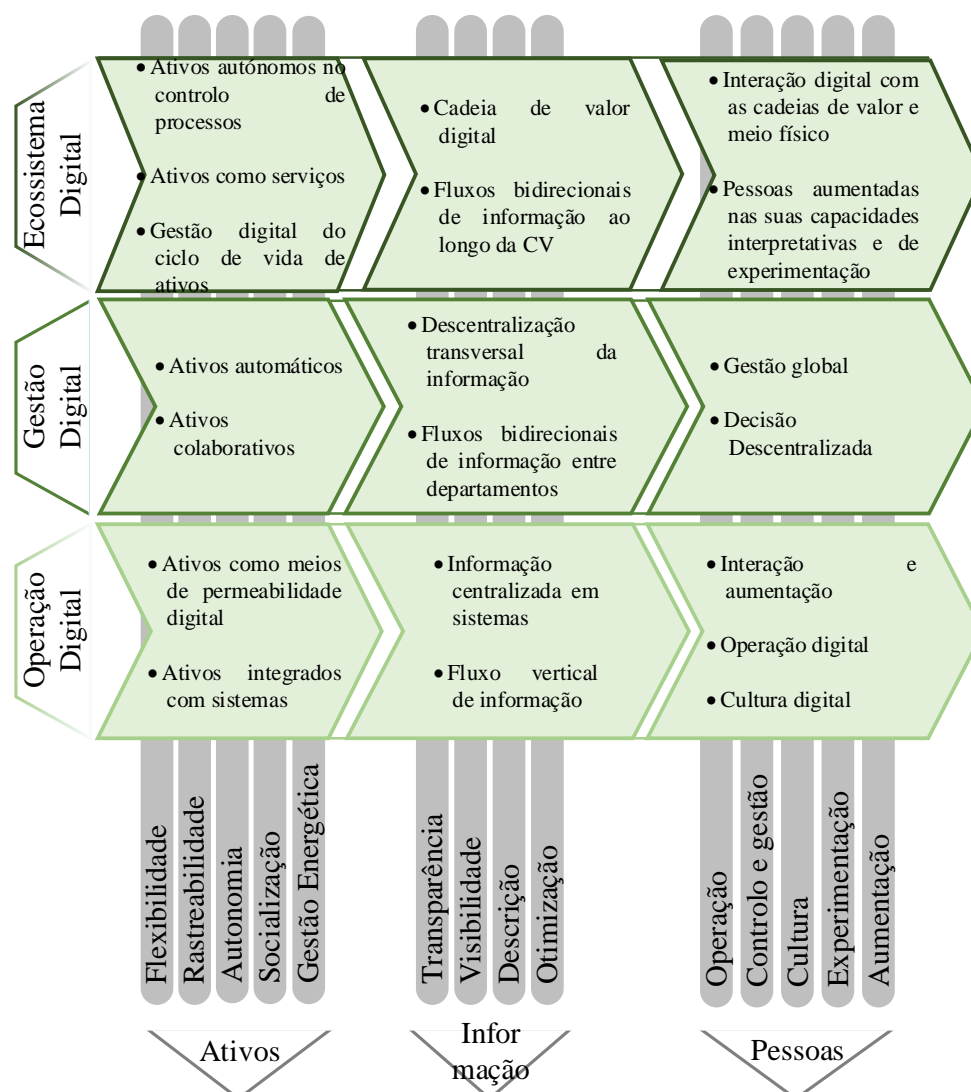


Figura 23 – Abordagem à objetividade e contexto avaliativo – relação entre áreas de avaliação e vetores diretores.

Os vetores diretores determinam o que se pretende avaliar em cada área avaliativa. Assuma-se como exemplo explicativo da forma como vetores e áreas de avaliação se relacionam: Considere-se o vetor “Ativos integrados com sistemas” e a área “Flexibilidade”. A direção do estudo é desenvolvida no sentido em que a integração de ativos em sistemas de informação permite que os primeiros possam ser controlados desde qualquer localização da organização em qualquer instante através dos segundos, tornando flexível o processo de deliberação, análise e operação. A dimensão avaliativa:

- Nível de ajustabilidade remota dos ativos através de sistemas ou serviços online.

É gerada a partir da combinação do vetor e área avaliativa descrita anteriormente.

É de referir que as áreas de avaliação podem não ter uma avaliação direta ou dedicada, analisando-se particularmente a autonomia ou a colaboração, mas sim resultarem numa relação entre múltiplas áreas. Por último, dado o carácter progressivo da avaliação, diversas áreas avaliativas são somente consideradas em níveis avaliativos particulares.

### **5.3. Nível avaliativo 1 – Vetores diretores da Operação Digital**

A gestão das operações desenrola-se em diversos contextos organizacionais como as operações de produção, de qualidade, de logística, de desenvolvimento de produtos aos demais âmbitos e áreas funcionais que caracterizam cada sector de negócio. Independentemente do contexto organizacional, a gestão das operações desenrola-se maioritariamente entre o nível tático e operacional, figura 24. O nível tático permuta os objetivos globais, estratégicos da organização para a sua materialização e concretização através da coordenação das operações. Deste modo, a necessidade de transpor a realidade do teatro de operações, chão de fábrica ou prestação de serviços para uma caracterização qualitativa, palpável e mensurável é uma prioridade para o controlo, monitorização e consequente gestão das operações e, em última instância, da organização.



Figura 24 – Pirâmide clássica de controlo organizacional.

A inexistência de quaisquer dados que caracterizem a realidade operacional das operações ao nível tático impossibilita a interpretação e análise funcional da verdade organizacional. É necessário deste modo, integrar a informação desde os níveis operacionais até ao nível tático, permitindo uma visibilidade departamental, reveladora e abrangente, da forma como os processos se estão a desenrolar, limitações de operação, desvios ou carências de recursos. A construção da visibilidade departamental carece em primeira instância da transposição vertical entre o que se pretende controlar (nível operacional) e desde onde se pretende controlar (Nível tático).

Além da necessidade de controlo e gestão das operações, a própria operacionalidade da organização, a sua flexibilidade e os modos de interação entre pessoas e ativos definem a forma como as diversas operações e atividades se desenrolam. Deste modo, existe a necessidade de identificar os vetores diretores, as *guidelines* que definem os contornos macro e globais da dimensão avaliativa operação digital:

- Ativos integrados com sistemas
- Ativos como meio de permeabilidade digital
- Informação centralizada em sistemas
- Fluxo vertical de informação
- Integração digital da operação e controlo
- Operação digital local e remota
- Cultura Digital

São apresentadas de seguida em detalhe, os vetores diretores mencionados que direcionam o presente nível de avaliação.

### **5.3.1. Fluxo vertical de informação e Informação centralizada em sistemas – A representação virtual das operações**

A visibilidade enquanto competência organizacional é central ao controlo e operabilidade da organização. Da perspetiva da operação digital, a visibilidade é referente à capacidade de vislumbrar a realidade operacional de forma sistémica. A utilização de sistemas de informação, aplicações e softwares dedicados de controlo e planeamento são as plataformas que sustentam a visibilidade desde a conexão entre sistemas e ativos descrevendo estados de funcionamento e condições processuais MES, sistemas do controlo da vida dos produtos PLM ou sistemas de planeamento organizacional como os ERP's. A visibilidade é deste modo construída sobre a representação digital da organização, virtualizada nos sistemas de informação.

A efetivação da visibilidade é conseguida através da conectividade entre os ativos do chão de fábrica e as plataformas descritas no parágrafo anterior. Informações referentes ao nível de carga de trabalho, tempos de paragem, níveis de qualidade de produtos e processos, níveis de stock, cálculo do *Overall Equipment effectiveness* ou controlo da rastreabilidade de produtos e ativos são algumas das informações dos diversos departamentos de produção, qualidade, logística e manutenção recolhidos e centrais ao controlo das operações.

O papel dos ativos no contexto da I4.0 assume um carácter central, superando o conceito de elemento agregador de valor ao nível de chão de fábrica. Os ativos são pontos de permeabilidade digital, sensíveis ao meio físico que agem sobre os processos em que estão inseridos transferindo informações pertinentes aos sistemas de visibilidade, contruindo a proximidade entre o meio virtual e físico, figura 25. A digitalização e virtualização dos ativos físicos é imperativa à construção de um sistema digital organizacional. As capacidades de disporem de entradas e saídas de dados, protocolos de comunicação integráveis, conectividade e comunicação ativo – sistema são meios centrais do entrosamento do meio físico com o meio virtual.

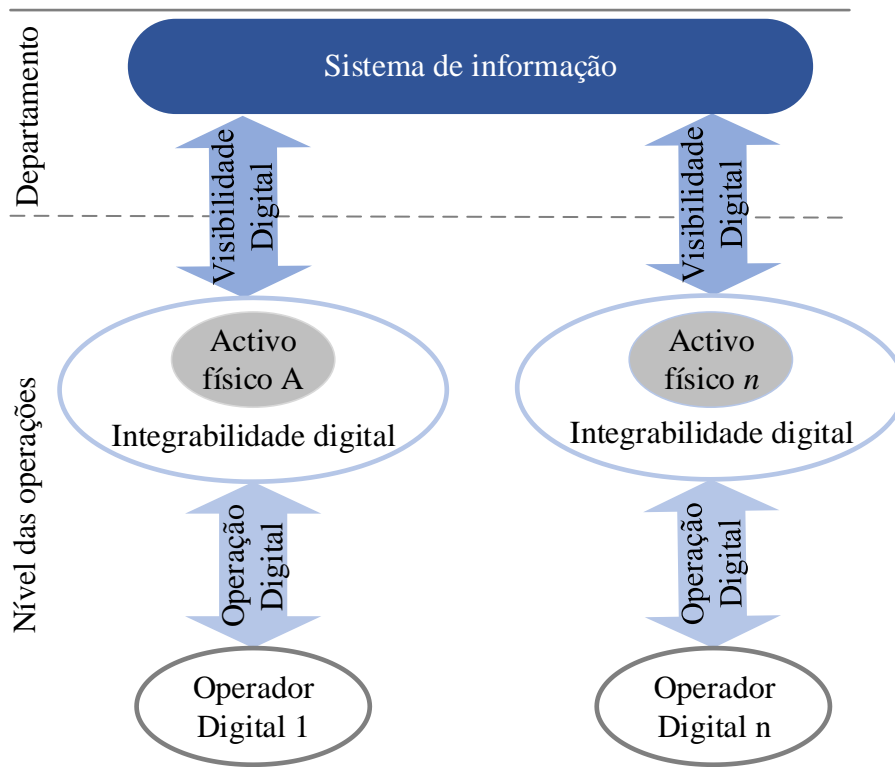


Figura 25 – Operação Digital. A relação entre ativos, Operador Digital e sistemas de informação.

Os sistemas de informação além de sistematizarem processos e tarefas, no contexto da I4.0 contêm também a projeção virtual do ecossistema físico da organização, construída a partir da conectividade entre ativo e sistema. A verticalidade da conectividade entre ativos e sistemas permite em simultâneo a descentralização e centralização da informação. A centralização da informação nos respetivos sistemas é central à construção da verdade operacional das organizações e à construção do *Digital Twin* cuja importância é destacada no nível segundo. Por seu turno, a descentralização é central ao alinhamento das operações entre os níveis táticos e operacionais conseguida através da transferência da informação referente a sequências de trabalho, alertas ou dados técnicos dos processos através destes *buses* verticais de informação, dos sistemas para os ativos. A verticalidade transpõe a informação do meio físico para o meio virtual através da conectividade ativo-sistema mas permite em simultâneo, a transposição de informação operacional pertinente entre os sistemas e ativos permitindo a convergência, o aproximar do meio físico ao meio virtual.

### **5.3.2. Ativos integrados em sistemas e como elementos de permeabilidade digital - A bipolaridade dos ativos**

As organizações são caracterizadas por operarem ativos cujas tecnologias estão dispersas ao longo das quatro eras industriais. Equipamentos totalmente manuais, máquinas elétricas desprovidas de quaisquer componentes computacionais a componentes digitais cujas competências de conectividade são nulas. Este espectro temporal de tecnologias está disperso ao longo dos diversos departamentos que compõem as organizações operando nos diversos processos em que estão inseridos. Como qualquer evolução histórica, o progresso tecnológico da I4.0 é desenvolvido gradualmente nas organizações nas quais diferentes tecnologias de diferentes eras industriais coabitam e operam em simultâneo. Deste modo, qualquer ativo físico cujas capacidades de conectividade e integrabilidade da informação em sistemas digitais sejam nulas, carecem primeiramente da necessidade de serem digitalizados, digitalizando as interfaces relevantes para o *modus operandi* e interação com o operador/utilizador e, capacidades de gerar e exportar os seus dados de operação, pertinentes para o controlo e gestão, para formatos integráveis em sistemas de informação. Esta envolvência digital que circunda o ativo físico é uma condição central à operação digital e será avaliada no presente nível. A capacidade de integração de dados através de protocolos e standards de comunicação é necessária aos ativos e sistemas estando estes munidos de entradas e saídas de dados. Pertencentes a um sistema sócio digital de partilha de informação, cada ativo está identificado e funciona como um “indivíduo” no ecossistema digital.

Mediante o descrito, torna-se evidente a necessidade de construir uma atmosfera digital ao nível do chão de fábrica, conferindo não só competências de conectividade, mas também de computação e tratamento de dados. A visibilidade desde os sistemas de informação só é extensível ao nível das operações se os ativos detiverem as competências previamente descritas. Deste modo, existe primeiramente a necessidade de digitalizar ativos para em segunda instância democratizar a produção e partilha de informação pertinente necessária à construção da visibilidade ao nível dos sistemas de informação.

Além da transposição vertical da informação desde o chão de fábrica ou prestação de serviços para os sistemas e plataformas de informação dos níveis departamentais e de controlo, figura 25, a informação pertinente é também transferida no sentido inverso, dos sistemas para os ativos até ao nível das operações. Esta permeabilidade digital introduz

informação necessária aos operadores no que respeita a sequências de trabalho, dados técnicos para a realização de tarefas ou informação referente às peças a fabricar. Deste modo, a verticalidade da informação é construída em dois sentidos construindo-se uma visibilidade ao nível de sistema (sistemas de informação departamentais) mas também ao nível das operações tornando, os ativos uma extensão dos sistemas de informação, descentralizando os pontos de permeabilidade informacional entre o nível tático e operacional munindo os operadores digitais de informação necessária às suas tarefas. No seguimento do descrito, os operadores digitais têm uma visibilidade glocal, agindo localmente mediante as necessidades globais definidas nos sistemas superiores. Esta condição funcional da visibilidade vertical das organizações digitais é central para as direcionar em toda a sua estrutura para o que são as prioridades e emergências a satisfazer em cada instante, direcionando-as para o que é valor, tornando flexível a operacionalidade da organização dada a proximidade entre o nível tático e operacional. Desde modo, o que é prioritário ao nível departamental é também prioritário ao nível das operações e o seu inverso.

A transposição das condições e prioridades departamentais às operações conduzem à necessidade de descentralizar a informação verticalmente, preparando e individualizando-a para as necessidades de cada centro de operações.

Dado o canal bidirecional da informação entre ativo e sistema, nível operacional e nível tático a permeabilidade digital dos ativos assume um carácter bipolar nas organizações digitais.

Além das capacidades de conectividade que os ativos detêm, a sua sensibilidade ao meio no que respeita a parâmetros dos processos aliada à capacidade de os explicar localmente através de interfaces dedicadas, permitem construir a transparência da sua operação. A compreensão dos seus modos de falha, alertas e suas origens, níveis de performance, monitorizar e controlar os processos em que se inserem permitem ao operador definir as necessidades de ajuste e configuração suportada em “factos” digitais. Existe deste modo uma consciencialização operacional que é centralizada na colaboração entre o ativo e operador digital, em que o primeiro sente e alerta para alterações ou desvios funcionais de processos, e o segundo, analisa, controla e age. Esta consciencialização local é central à construção de uma cadeia de valor dinâmica, flexível e rapidamente ajustável. Os ativos são deste modo os pontos de gestão local, de interação em tempo real

entre o mundo físico e o operador digital, através das suas interfaces interativas e explícitas.

Ativos com interfaces imersivas permitem fundir o mundo virtual e físico, projetando na envolvente física, dados e representações virtuais de suporte à montagem, controlo de qualidade e suporte remoto às necessidades de manutenção dinamizando métodos e formas de operar e permitindo uma rápida experimentação de cenários hipotéticos e formas de funcionamento. Esta envolvente interativa confere ao operador digital autonomia, precisão e confiança na realização das suas tarefas.

### **5.3.3. Operação digital local e remota – A descentralização das operações**

A conectividade de ativos e sistemas de informação permite criar um *Bus* vertical de informação entre o nível departamental tático e o nível operacional. No entanto, este *Bus* de informação não se limita somente à visibilidade descrita anteriormente, permitindo também operar os ativos desde os sistemas. A capacidade de os ativos transporem dados da sua operação, a sua configuração, performance, falhas e consumos permitem a quem está a operar desde os sistemas de informação interpretar e analisar o funcionamento dos ativos e as necessidades dos processos. Aliada a esta capacidade, interfaces de manipulação dos parâmetros dos ativos munem os sistemas de informação para um controlo remoto totalmente descentralizado. Deste modo, o operador digital não se cinge somente à operação direta com o ativo (operador digital - ativo) podendo operar e controlar diversos ativos de forma remota desde os sistemas (operador digital - sistemas - ativos) em qualquer posição da organização. Deste modo, o controlo operacional da organização é realizado desde a projeção virtual dos ativos corporizada nos sistemas de informação. É neste sentido que a necessidade de digitalizar ativos, estados processuais e projetá-los nos sistemas de informação são as condições primárias à construção da operação digital, do *Digital Twin*, a avaliar no presente modelo.

Referentemente ao *Digital Twin*, é de referir que a sua contextualização conceptual não se limita somente à representação digital dos ativos ou dos sistemas. No presente modelo, o *Digital Twin* é extensível à interação entre as pessoas e os ativos. A utilização de ferramentas e interfaces digitais de operação dos ativos por parte das pessoas, constituem-se como parte das fronteiras do *Digital Twin*, em que as ações e

escolhas do operador digital se desenrolam primeiramente no meio digital para posteriormente serem integradas ou transferidas para o meio físico.

Descentralizar a operacionalidade dos ativos implica descentralizar o poder de decisão e liberdade interpretativa do operador digital. Deste modo, capacidades de análise, espírito crítico e autogestão são centrais ao operador digital, que é em simultâneo operador do meio físico e do meio digital, em que tem de perceber as relações entre ambos, a forma como estão dependentes e se influenciam. Num contexto totalmente dinâmico, de mutações constantes, composto por um número continuamente crescente entre sistemas e entre ativos, uma estruturação rigidamente hierarquizada do poder de decisão é de todo incompatível com as necessidades não só dos sistemas digitais mais também com as necessidades e exigências que o mercado impõe às organizações.

#### **5.3.4. Operador digital – Cultura e Operação digital**

A operação digital da organização não se limita somente à forma como a informação é dispersa e o papel dos ativos na mesma. As pessoas enquanto elementos centrais são responsáveis pela tomada de decisões e pela materialização da cultura organizacional.

A informação enquanto matéria-prima da I4.0 deve ser encarada pela cultura organizacional como uma missão no que respeita à sua criação, partilha e conservação. Neste sentido, criar fluxos informacionais de partilha e acesso a dados conduz à necessidade de considerar a implementação de tecnologias sensíveis ao meio físico, interfaces de colaboração homem-máquina e conectividade entre os ativos e sistemas como requisito primário ao funcionamento digital. Tal como a cultura das organizações deve ser encarada de forma global por toda a organização, o processo de digitalização organizacional deve ser também ele encarado de forma transversal a todas as áreas funcionais da organização inviabilizando disrupções informacionais. Deste modo, há que ser percebido que qualquer ativo cuja necessidade de controlo e gestão é central à organização deve estar digitalizado e conectado ao meio digital. No seguimento do descrito, a informação como missão conduz por consequência à digitalização como missão, digitalizando localmente e conectando globalmente.

No que respeita à descentralização da informação, é de referir que a mesma deve ser disponibilizada o mais próximo possível do seu ponto/local de necessidade ou ao

longo de um fluxo de necessidades que engloba diversos ativos e sistemas. Neste sentido, no que respeita o operador digital, é de importância central reconhecer que a responsabilidade de manipulação, conservação e produção da informação está assente sobre cada um. Esta consciencialização da responsabilidade é transversal à organização. Paralelamente, a descentralização da informação conduz à necessidade de tornar conscientes as pessoas que a manipulam no que respeita a condições de segurança, sensibilidade dos dados, património intelectual ou mesmo o que são considerados dados obsoletos e descartáveis. A informação enquanto matéria prima da I4.0 necessita de ser inserida, tratada, catalogada e associada para atingir um estado de maturidade e usabilidade adequado. As pessoas enquanto elementos geradores, controladores, recetores e processadores de informação têm de assumir como objetivo central a necessidade de criar e gerir a informação não só a uma escala local, mas com uma objetividade global, compreendendo as necessidades e condições dos sistemas de informação tal como o tipo de informação relevante para os diversos sistemas e departamentos organizacionais

Dadas as necessidades de utilização dos agentes tecnológicos como elementos de digitalização, é exigida à cultura organizacional uma interpretação e valoração das tecnologias. Há que disseminar ao longo da cultura organizacional a necessidade de aceitação das tecnologias em que as mesmas devem ser encaradas como elementos de suporte à operação, controlo e gestão por parte das pessoas. Os agentes tecnológicos devem ser posicionados como elementos de competitividade organizacional, de inovação, de melhoria das condições de trabalho sendo estas diretrizes transversais a todo o contexto cultural. Estas condições são necessárias para a aceitação, motivação e interesse das pessoas em integrar e utilizar estas tecnologias.

A introdução de tecnologias na organização deve ser partilhada com as pessoas de uma forma global, clarificando as necessidades e competências pretendidas com as mesmas ao nível local, mas também, os objetivos mais globais e interdepartamentais pretendidos com as mesmas, envolvendo as pessoas no que é a visão tecnológica da organização.

A descentralização da decisão necessária aos sistemas organizacionais flexíveis exige que cada pessoa tenha um papel mais ativo na decisão e controlo. O processo de decisão deve ter como foco o que é valor e quais são as prioridades da organização. Estas valências comportamentais da organização são materializáveis através da disseminação

da visão definida para a organização. Em boa verdade, cada pessoa é um vetor cuja direção deve ser colinear com o vetor visão organizacional. No contexto da I4.0 esta *colinearidade* é central para um processo de decisão assertivo

É neste sentido que avaliar digitalmente uma organização é indissociável de avaliar o quão digital é a direção e alinhamento cultural.

### **5.3.5. Operador digital – Interação e aumentação digital**

As plataformas, interfaces e sistemas digitais tornam-se centrais à I4.0 constituindo o meio central de operações. Deste modo, o operador digital detém conhecimentos de *troubleshooting* e resolução de problemas referentes às tecnologias e processos de informatização e comunicação digital, definindo soluções e decidindo qual a forma de o fazer. Somente desta forma se constrói uma rede de pessoas aptas a responder a um sistema complexo e flexível, conectado e integralmente interdependente entre si. Como o sistema é integralmente interdependente entre si, capacidades de respostas a problemas e *troubleshooting* devem ser dadas o mais rápido e próximo possível pelas pessoas que estão intimamente relacionadas com a operacionalidade de ativos e com as características dos processos. Deste modo, o conceito de operador digital não se reduz à operação digitalizada de ativos ou da forma como interage com o meio físico, diz também respeito à alteração cultural em tornar as pessoas elementos ativos e autónomos de controlo, de decisão, especialistas de operação totalmente alinhadas e direcionadas com a visão da organização.

No que concerne à interação do operador digital tanto com o meio físico como com o meio digital, há que referir a necessidade de aumentação das capacidades das pessoas. A necessidade de interpretar volumes cada vez mais massivos de informação, a necessidade de experienciar cenários hipotéticos de forma a validar a sua exequibilidade ou, a necessidade de operar ativos cujo grau de complexidade torna os sistemas tradicionais (display - humano) inapropriados, remete para a condição de aumentação das capacidades humanas e da proximidade da interação das pessoas com o meio físico e digital. O conceito de aumentação considera que as capacidades das pessoas enquanto seres humanos, seres interpretativos, interativos e capacitivos, são aumentadas permitindo uma interação mais próxima entre humano e máquina. Óculos de realidade aumentada, mista ou virtual permitem fundir o mundo digital e físico potenciando as capacidades de

interpretação ou visibilidade das pessoas. Além da representatividade gráfica que potencia a capacidade crítica e de análise das pessoas, a integração de movimentos humanos, naturais, lógicos, para a operação e cordeação de ativos, transformando em comandos digitais torna a relação mais orgânica e familiar com equipamentos e sistemas através de plataformas que exploram e se dedicam mais intensamente às características humanas. A utilização de exosqueletos, sensores e atuadores agregados aos membros do operador permitem reproduzir digitalmente os seus movimentos físicos.

### **5.3.6. Tecnologias centrais da operação digital**

As tecnologias de comunicação, standards de comunicação, interfaces e conversores de sinais de entrada e saída são centrais à interoperabilidade entre ativos e à acessibilidade a sistemas de informação. Estas capacidades são centrais a qualquer nível avaliativo do presente modelo. Paralelamente, as características referentes a latência, tráfego de dados, largura de banda são condições centrais à troca fluída de dados abrangendo toda a organização.

No que respeita às tecnologias que integram este nível avaliativo, os sensores e dispositivos de controlo são elemento primário e central da construção do ecossistema digital. Paralelamente, dispositivos computacionais e PLC's compõem os ativos permitindo o tratamento de dados e suportando as interfaces locais ao longo das operações. Cada ativo assume uma identificação digital única na rede de conectividade.

A interação entre o operador digital e os ativos é conseguida com recurso a interfaces Homem-máquina HMI e de sistemas de realidade aumentada e realidade mista com recurso a óculos digitais e hologramas. A necessidade de auxiliar o operador nas suas tarefas no que se refere à complexidade, controlo e dinamismo operacional é beneficiada com a utilização de tecnologia imersivas para o controlo qualitativo, análise de stocks, interação com a máquina e operações de manutenção.

Robôs permitem uma interação automática e flexível das operações. Conectados a sistemas de informação manipulam recursos e parâmetros processuais.

Tecnologias de simulação permitem aos operadores digitais a compreensão e experimentação de cenários hipotéticas do funcionamento dos processos. A utilização de softwares de simulação contidos no ativo permite em simultâneo suportar a análise, a pré-validação e estimar o comportamento e configurações dos ativos em diferentes cenários,

auxiliando o operador em tarefas de *setup*, *troubleshooting*, decisão e na simplificação da gestão da complexidade de parâmetros processuais.

Num contexto dinâmico e de flexibilidade premente, o recurso a serviços *cloud* sustentados no *plug and produce* permitem aos operadores digitais rapidamente reconfigurarem a estrutura funcional dos ativos. Ao nível do meio físico, a capacidade de integrar diferentes protocolos de comunicação simplifica tarefas de implementação ou de reconfiguração de layouts ao nível da conectividade entre ativos.

Capacidades de aprendizagem por parte de ativos mais complexos, como máquinas e robôs permitem otimizar tempos de paragem ou de configuração entre *setups*. É de referir que ao nível da operação digital a escala de aprendizagem é dedicada à capacidade de os ativos aprenderem localmente com a informação extraída do meio físico ou com a informação rececionada pelos sistemas de informação. O conceito de aprendizagem será ampliado no nível de gestão digital das operações e ecossistema digital à colaboração entre ativos e da organização com o ecossistema circundante respetivamente.

#### 5.4. Nível avaliativo 1 – Dimensões de avaliação

No que respeita à construção das dimensões de avaliação do nível 1, a relação entre os vetores diretores e as áreas de avaliação é apresentada na tabela 8.

Vetores Áreas	Fluxo vertical de informação	Informação centralizada em sistemas	Ativos integrados em sistemas	Ativos como meios de permeabilidade digital	Cultura e operação digital	Interação e aumento digital
Flexibilidade			1	2 3		
Rastreabilidade			4			
Autonomia				5 6		
Socialização						
Gestão de energia		7				
Tansparência						
Visibilidade	8 9	10	11			
Descrição	12					
Otimizar			13			
Operação					14	
Controlo e Gestão					15 16	
Cultura					17	
Experimentação						18
Aumentação						19

Tabela 8 – Relação entre vetores diretores e áreas de avaliação do nível 1

Nem todas as áreas de avaliação estão sujeitas à aplicação de um vetor diretor para a criação de uma dimensão avaliativa. Existem áreas de avaliação cuja aplicação de vetores ocorre somente em níveis específicos da avaliação como é o caso da socialização.

As dimensões de avaliação construídas a partir do nível 1 são:

- 1 Operação e configuração dos ativos desde os sistemas de informação
- 2 Integração de informação referente ao planeamento e necessidades das operações nos ativos
- 3 Ativos munidos de interfaces dedicadas ao operador digital
- 4 Informação referente à localização dos ativos e produtos espelhada nos sistemas de informação
- 5 Ativos com capacidades de alocar causas a eventos
- 6 Ativos com capacidades de mensurar digitalmente os processos em que se inserem
- 7 Representação digital nos sistemas das formas de consumos de recursos dos ativos
- 8 Dispersão de meios digitais de interpretação de sequências e necessidades de operação
- 9 Visibilidade das necessidades de coordenação e operação desde os ativos
- 10 Representação digital do estado dos processos nos sistemas de informação
- 11 Representação digital do estado dos ativos nos sistemas de informação
- 12 Informação operacional pertinente preparada para o operador digital ao nível dos sistemas
- 13 Otimização de rotas dos ativos
- 14 Autonomia do operador digital na interpretação de dados
- 15 Ajuste das necessidades locais às necessidades globais
- 16 Níveis de competências de análise e decisão do operador digital
- 17 A informação como elemento central para o operador
- 18 Ativos com interfaces virtuais de experimentação dos modos de operação e seus resultados
- 19 Ativos com sistemas físico virtuais de operação, configuração e controlo

## **5.5. Nível avaliativo 2 – Vetores diretores da Gestão Digital das operações**

O nível avaliativo número 1 dedicou-se à construção da interoperabilidade funcional entre o controlo operacional e a gestão departamental através da digitalização de ativos e da sua forma de comunicar com os sistemas de informação. Contudo, a construção de uma abordagem global à gestão digital das operações requer de uma interoperabilidade transversal aos diversos departamentos organizacionais, integrando sistemas e ativos numa direção horizontal construindo uma rede cooperante, dinâmica e multifuncional. É deste modo necessário construir uma rede colaborativa, interdependente entre sistemas e ativos que descortinem de forma transparente o meio físico suportando o gestor digital nas suas análises e decisões.

Os vetores diretores a abordar no nível 2, gestão digital são:

- Ativos automáticos
- Ativos colaborativos
- Descentralização transversal da informação
- Fluxos bidirecionais de informação
- Gestão global
- Decisão descentralizada

### **5.5.1. Ativos colaborativos e automáticos**

A integração digital do ativo permite a sua operação e controlo desde o ecossistema virtual através da sua integração nos sistemas de informação. Contudo, a construção da organização digital requer da integração horizontal e colaborativa entre sistemas necessária à flexibilidade, dinamismo e ajustabilidade automática.

A capacidade de conectar ativos no teatro de operações das organizações digitais é uma condição central para criar sistemas produtivos dinâmicos e ajustáveis em tempo real. A capacidade de os ativos comunicarem, os seus estados de funcionamento, início e fim de operações, carga de trabalho, alterações à sequência operativa, necessidades de recursos ou quaisquer outras condições operacionais, permite criar um sistema social digital de adaptação e dependência conjunta. A colaboração ativo - ativo pode ser realizada diretamente entre os ativos, através de protocolos de comunicação industriais ou através das plataformas e sistemas de informação nos quais os seus artefactos digitais

(as suas representações virtuais) interagem condicionando-se mutuamente. Esta colaboração é dimensionada de forma a atingir-se os objetivos departamentais e globais da organização através da visibilidade global das prioridades da organização. A colaboração dos ativos é supervisionada e controlada pelo Gestor digital, que intervém diretamente na interação ativo - ativo ao nível operacional ou, na colaboração entre os artefactos digitais dos diversos ativos ao nível dos sistemas de informação ilustrado na figura 26.

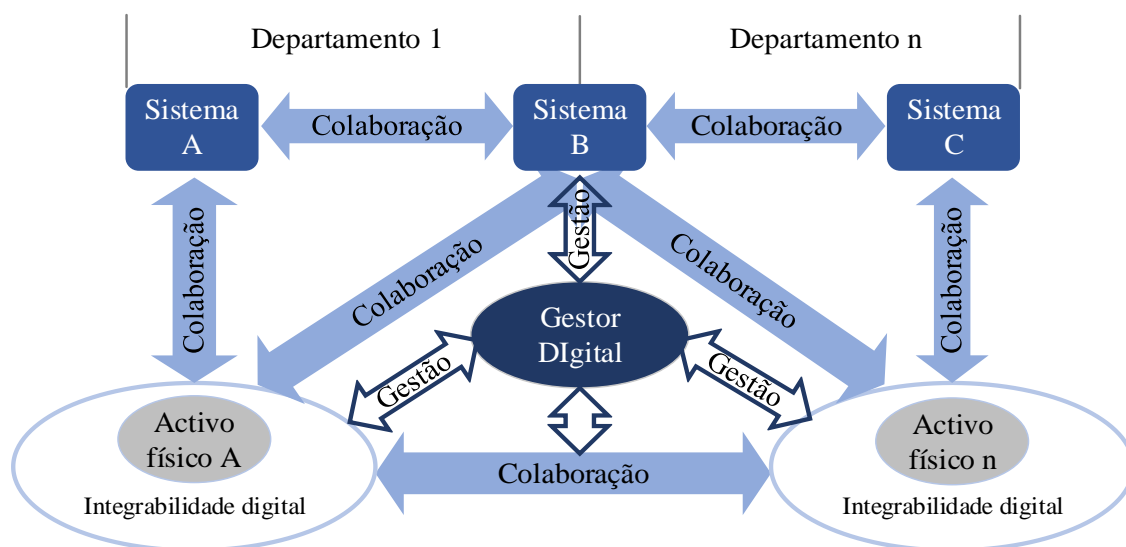


Figura 26 – A conjectura da gestão digital das operações.

As prioridades e necessidades globais e departamentais estão definidas nos sistemas de informação. A conectividade dos ativos com os sistemas de informação permite transpor estas necessidades e prioridades para o nível operacional fazendo com que o ativo em questão se acondicione às mesmas. Contudo, é de referir o cenário em que diversos ativos não estão conectados aos sistemas de informação. Diversas máquinas de eras industriais anteriores não suportam protocolos de conectividade digital a sistemas de informação, mas suportam protocolos de conectividade ativo – ativo. Deste modo, estes ativos mais limitados ao nível de protocolos de comunicação são geridos por outros ativos que estão ligados aos sistemas de informação. Estes ativos conectados aos sistemas de informação são pontos de permeabilidade digital vertical, já que permite a permutação entre sistema e máquina, mas, em simultâneo, pontos de permeabilidade horizontal permitindo condicionar a forma como ativos não conectados aos sistemas operam. Este cenário explana o conceito de ativos como extensões dos sistemas de informação.

A simbiose operacional entre múltiplos ativos conseguida através da cooperação conjunta não tem a sua importância limitada às necessidades de flexibilidade e dinamismo operacional. Além da comunicação de sinais e dados de estados de funcionamento, capacidade de os ativos comunicarem as causas e modos de falhas associados a um evento local, através de sensores ou reportadas pelos operadores digitais através das interfaces locais, permite aos demais ativos colaborativos estarem informados dos eventos, das respetivas causas e consequências. Esta transparência horizontal ao nível operacional, permite ao operador digital de cada ativo estar consciente de que um evento anómalo ocorreu na cadeia de valor na qual estão inseridos e, analisar o estado do impacto localmente nas suas tarefas e objetivos. Por sua vez, o gestor digital (que pode ser em simultâneo operador digital) monitoriza a cooperação dos ativos e, em função da anomalia ou alerta proveniente de um dos ativos, redefine sequências e prioridades da colaboração atendendo às necessidades comuns.

Aliada à colaboração entre os ativos estão as necessidades de automatismos, automatismos no que respeitam à interação direta com o ecossistema físico envolvente, através de sensores e atuadores, interfaces/sinais indicativos e sistemas robotizados. Contudo, o nível de automatismo é extensível à relação e interação entre os ativos no que respeita adaptabilidade, interoperabilidade e capacidade dos softwares e algoritmos de compreenderem as necessidades locais de cada ativo e de os configurarem conjuntamente para a necessidade comum departamental ou organizacional. Este relacionamento automático entre ativos pode ocorrer diretamente através da colaboração ativo - ativo no chão de fábrica ou prestação de serviço ou, através da interação dos artefactos digitais dos ativos nos sistemas.

A capacidade de os ativos serem portadores de capacidades de conectividade e capacidades computacionais permite que os mesmos possam comunicar diretamente com os diversos sistemas de informação através de protocolos de comunicação. Este cenário tem especial interesse para ativos móveis como elementos transportadores, peças ou componentes cuja sua localização e necessidades de interação com sistemas de informação variam ao longo do ciclo produtivo.

## ***Tecnologias centrais à gestão digital das operações***

No que respeita às tecnologias que integram os ativos, a utilização de etiquetas RFID, códigos QR, interfaces de leitura de dados e dispositivos wireless permitem localizar e integrar os ativos em qualquer ponto da organização. A utilização massiva destas tecnologias é necessária para estender a colaboração digital a todas as tipologias de ativos, desde peças e produtos produzidos, a máquinas e dispositivos móveis.

Os sistemas de informação desde ERP's, MES ou *softwares* CAD/CAM são aplicados desde o século XX nas organizações. Contudo, no contexto da I4.0, novas capacidades e ferramentas são necessárias para suportar o gestor digital nas suas tarefas. Os sistemas Novas interfaces flexíveis, facilmente ajustáveis às necessidades de interpretação e manuseamento de dados são necessárias. Automatismos programáveis, *friendly user*, são necessários para a execução de tarefas repetitivas libertando os gestores digitais para as tarefas críticas e centrais de análise, decisão e criatividade. Os sistemas de informação são pontos de permeabilidade interpretativa para os gestores digitais, apresentando o panorama organizacional de forma fiável.

A utilização de ferramentas de tratamento para os dados provenientes de máquinas, sensores e dispositivos de controlo ao nível operacional, contextualização dos dados definindo qual o âmbito de utilização da ferramenta e o armazenamento dos mesmos constituem o *Big Data*. O *Big Data* enquanto aglomerado da “massa” de dados gerados e partilhados entre sistemas e entre ativos detém as ferramentas de tratamento, compressão e interpretação dos dados gerados. Estas ferramentas são centrais para fraturar a informação, dissecando a sua importância e relações com os demais dados na *Big Data* necessárias à construção de conhecimento.

As tecnologias *cloud* suportam as necessidades de integração entre sistemas, oferecem a resiliência à estrutura de informação alojando o *Big Data* na *cloud* através de serviços de armazenamento de dados, Backup, recuperação e de partilha. Serviços de softwares substituem os softwares locais em cada departamento, simplificando as necessidades dos fornecedores destes serviços em interligar e partilhar dados entre si através da internet. A capacidade de ajustar os serviços *cloud* em tempo real, mediante a evolução das necessidades e variabilidade das cadeias de valor permite aos gestores digitais adaptarem rapidamente automatismos e formas de partilha de dados.

A colaboração entre ativos e a fusão entre sistemas de informação e o ecossistema físico permitem criar os *Cyber Physical Systems*, fundido as tecnologias ao nível de sistemas, *Big Data*, algoritmos de análise, *Cloud*, com os sensores, robôs, realidade aumentada, mista e virtual do chão de fábrica. A gestão digital das operações é sustentada por tecnologias que permitem digitalizar as interações, controlo, suportar as decisões e intervir no ecossistema físico.

As tecnologias de simulação assumem um papel distinto neste nível avaliativo, estando direcionadas para o suporte à decisão e interpretação do funcionamento de processos, ativos e das suas colaborações. Os sistemas de modelação computacionais (CAD/CAM) são suportados por plataformas de simulação 3D, realidade aumentada imergindo os seus utilizadores em cenários digitais representativos das formas como ativos colaboram, necessidades e configurações de layout, fluxos de trabalho, suportando análises e decisões através de uma rápida experimentação.

No que se refere à gestão digital das operações e à configuração da produção, as impressoras 3D são relevantes para a flexibilidade e precisão operacional. Estas tecnologias permitem uma rápida transposição do ecossistema digital para o ecossistema físico, auxiliando o imediatismo operacional, a rápida experimentação e a descentralização de recursos contribuindo para uma redução de *stocks*.

A capacidade de auto ajustabilidade dos sistemas digitais é conseguida grandemente devido à colaboração sistémica de ativos e sistemas. Deste modo é necessário que a estrutura e rede digital que os conecta seja mais resiliente, ajustável com bypass que inviabilizem a descontinuidade informacional. Dadas estas necessidades, a própria rede de conectividade que sustenta ativos e sistemas deve também ela ser colaborativa, ajustando capacidades de tráfego de dados ou largura de banda em função das necessidades locais e temporárias, otimizando recursos e disponibilidades. A utilização de serviços de TIC, criando uma rede de conectividade virtualizada, customizada a particularidades é uma necessidade.

### **5.5.2. Fluxos bidirecionais e descentralização transversal da informação interdepartamental**

A transparência é um dos objetivos da digitalização organizacional, necessária para o entendimento da verdade organizacional, descortinando as razões subjacentes aos eventos. Defina-se a verdade organizacional como um conhecimento objetivo das causas e consequências entre eventos, das relações entre os parâmetros processuais e dos parâmetros dos ativos, nível de influência entre ativos e, a capacidade de reconstruir históricos de operação confrontando o passado com o presente. De forma a construir a verdade organizacional, é necessário enquadrar a informação recolhida ao longo das cadeias de valor, tratando-a, convertendo-a e analisando-a para a sua integração nos sistemas de informação.

No nível 1, operação digital, a avaliação da integração digital cingiu-se à verticalidade da mesma, direcionada para a conectividade ativo - sistema de informação. No entanto, é necessário assumir uma abordagem horizontal que cruze transversalmente a organização de um extremo a outro, criando fluxos de informação interdepartamentais descentralizando a informação relevante para os ativos ou para diferentes sistemas. Deste modo, os diferentes sistemas e plataformas de informação de diferentes âmbitos de operação da organização são integrados, propagando a informação relevante e necessária à transparência e visibilidade entre departamentos. A construção da relação entre as causas e consequências dos eventos é realizada através da partilha de dados pelos diversos sistemas e, de algoritmos de análise de extração e contextualização de dados.

A capacidade de transpor dados entre sistemas numa rede bidirecional de informação, permite criar uma base de dados global na qual está refletido o comportamento organizacional no que respeita às causas de um evento, parâmetros que o influenciaram ou consequências associadas à sua ocorrência. Existe a necessidade de descentralizar a informação para a estruturação de uma interpretação global do cenário operacional, envolvendo parâmetros dos departamentos de qualidade, logística, produção ou desenvolvimento. A capacidade de relacionar a informação entre parâmetros das operações de produção (pressão, temperatura, *timings* de entrada e saída de ativos ou volume de recursos consumidos) com parâmetros das operações de qualidade (níveis de dureza, estados de superfície ou condutividade) permite conhecer o comportamento organizacional dos seus processos. A construção deste nível de dependências e relações

constitui-se como um dos maiores desafios à gestão das operações digital. Deste modo, os algoritmos de tratamento e interpretação de dados analisam e relacionam os diversos dados, decifrando relações, padrões e tendências no funcionamento dos ativos, causas relativas aos desvios e anomalias de processos. Esta interpretação do que está subjacente e inexplícito aos comportamentos da organização é uma condição central para a construção do conhecimento organizacional. O conhecimento criado revela a “conduta” processual e a forma de operação da organização, decifrando a envolvimento entre departamentos, relações entre ativos, causas e efeitos de anomalias contribuindo para a previsibilidade, permitindo projetar em antecipação possíveis consequências para as decisões ou prever necessidades de recursos ou alterações aos planejamentos.

A abordagem *cross functional* da organização permite aos departamentos operarem conjuntamente, criando uma relação colaborativa e direcionada para as necessidades globais. A capacidade imediata de transpor informação entre departamentos cria uma sensibilidade digital dos mesmos às alterações nas diversas áreas da organização. Deste modo, o gestor digital tem em tempo real uma representação virtual da organização e uma visão global, relacionando consequências e resultados locais com ocorrências e causas remotas.

A rede de digitalização e conectividade global da organização, entre sistemas e ativos, dedica-se à construção de um ambiente sociotécnico global, multidisciplinar, envolvendo as diversas particularidades e necessidades dos departamentos. Esta integrabilidade digital permite criar soluções globais, suportadas pelas necessidades e valências de cada área de operação. Além da flexibilidade de reação organizacional através da detecção e relação de eventos entre os diversos sistemas, a transparência digital pretende criar uma flexibilidade na ação e resposta, permitindo compreender as condições e consequências em qualquer ponto da organização em função das decisões locais.

A construção da verdade organizacional abrange a necessidade de tornar transparente as formas e modos de colaboração entre ativo e entre ativos e sistemas. Não basta ter representado digitalmente o estado funcional do ativo ou da forma como este age sobre o meio físico, é necessário descrever digitalmente a forma como este se relaciona com os demais enaltecendo as particularidades e resultados das relações e dependências entre ativos. É necessário construir esta rede “neuronal” de níveis de consequência e dependência que evidenciem a forma como os parâmetros de distintos ativos se influenciam e os “comportamentos” relativos entre ativos. O *Digital Twin* não

se resume à representação digital do resultado, do *output* de uma colaboração entre ativos (um KPI de processo ou do nível de recursos consumidos p. ex. num conjunto de atividades realizada por diversos ativos), deve conter uma descrição dos resultados e performance da colaboração. Esta construção do comportamento digital dos ativos é também relevante para a identificação de padrões, padrões estes que têm um papel central em ferramentas de simulação, previsibilidade ou de algoritmos de controlo autónomo do conjunto de interações.

Na gestão digital das operações o produto torna-se um elemento de portabilidade de informação, incluso no *Digital Twin* através de competências de comunicação. O produto passa deste modo a ser parte integrante do sistema de informação permitindo o seu controlo com ou sem quaisquer necessidades de outros ativos. A capacidade de controlar o produto sem a necessidade de outros ativos (máquinas ou dispositivos de controlo) é essencial para uma rede de rastreabilidade global e uma transparência estendida a toda a cadeia de ativos.

### **5.5.3. Gestor Digital – Decisão descentralizada e gestão global**

O dinamismo das organizações assente nas interações de sistemas e de ativos conduz à necessidade de se analisar e decidir em espaços de tempo cada vez mais reduzidos. As pessoas assumem um papel crescente de gestor e decisor num meio em constante mutação. É deste modo necessário criar uma visibilidade e transparência digital permitindo o suporte à tomada de decisões, conscientes e sustentadas em factos organizacionais. Subjacente ao papel de gestor está a necessidade de descentralizar a informação através dos sistemas de informação ou interfaces presentes nos ativos, permitindo a cada pessoa deter dados que suportem análises e decisões nos locais e nos momentos em que as mesmas devem ser assumidas.

O gestor digital é deste modo um decisor glocal, agindo localmente em função das necessidades globais, sendo central à estrutura organizacional das operações, figura 26. Decidir de forma concisa e enquadrada com a organização carece de capacidades interpretativas, de compreender que o ótimo local pode não corresponder ao ótimo global. Além de competências de gestão, capacidade de analisar a organização nas suas múltiplas áreas e na forma como se relacionam é central. De outra perspetiva, há em simultâneo a necessidade de partilhar as decisões com os diversos gestores digitais, usando plataformas

convencionais (e-mail p. ex.) ou plataformas integrais, em que em tempo real, as decisões locais são partilhadas em qualquer posição da organização. Enquanto que o operador digital é um *troubleshooter* de problemas e questões afetas à operacionalidade dos ativos, o gestor digital é um *troubleshooter* da forma ótima como os ativos da organização se estão a relacionar e da forma como os operadores digitais se relacionam e envolvem no meio físico. Para o fazer, o gestor digital requer de elevada visibilidade e transparência, não só da operação de cada ativo, mas também da forma como estão a interagir.

O gestor digital tem como principais instrumentos os sistemas e serviços de informação conectados aos ativos, controlando vários elementos em simultâneo. Tecnologias imersivas e interativas suportam os gestores digitais na interpretação e interação da representação virtual do ecossistema físico. A exigência sobre o gestor digital de gerir múltiplas colaborações entre ativos, entre operadores digitais em contextos e processos variados requerem de condições de experimentação distintas das do operador digital. Enquanto que o operador digital tem ao seu dispor um contexto mais concreto, mais palpável dada a sua cooperação mais próxima com os ativos e processos, o gestor digital pode estar numa posição mais afastada e remota que dificultam a sua sensibilidade à realidade operacional. É neste sentido que as informações contidas nos sistemas conjuntamente com técnicas de representação virtual ou as ferramentas de suporte à decisão têm de ser totalmente direcionadas para o enquadramento virtual do gestor digital no meio físico. Estas interfaces são totalmente direcionadas para a análise com um nível de flexibilidade e customização que as direcione diretamente para o que se pretende analisar.

A descentralização da capacidade de decisão excede as necessidades tecnológicas de descentralizar a informação. É necessário estabelecer uma cultura de confiança e incentivo à tomada de decisões, consciencializando cada pessoa das suas responsabilidades e do seu campo de ação. É necessário demonstrar que alterações locais contribuem proactivamente para um objetivo global, revelando o que é valor nas operações de cada um. Ao nível do processo de decisão, as estruturas clássicas de controlo, verticalizadas, não detêm a flexibilidade necessária para o ambiente rapidamente mutável das organizações digitais. Deste modo, as estruturas organizacionais transitam de um modelo hierárquico de controlador–executante para supervisor–gestor digital em que a decisão e autoridade estão descentralizadas transitando de uma postura cultural de controlo de tarefas para monitorização da qualidade das decisões. Mais do que

em qualquer outro momento do progresso tecnológico e cultural das organizações, as pessoas são o centro organizacional, não só pelo crescente nível de especialização técnica que necessitam de possuir para interagir com a complexidade tecnológica, mas também pelo nível de exigência e versatilidade nos domínios das *soft skills*, da gestão, da iniciativa crítica e de autoaprendizagem que corporiza o envelope multidisciplinar de competências necessárias à competitividade organizacional.

Paralelamente, a descentralização da decisão depende também das competências do gestor digital. Além das capacidades técnicas, o gestor digital é crítico, possui competências analíticas e é independente na interpretação de dados. Consciente das necessidades organizacionais, comunica de forma proactiva as suas necessidades. Num contexto digital, a partilha de informação entre departamentos e diversas áreas organizacionais conduzem a necessidades de comunicação, documentação e aceitações locais face a necessidades globais.

Na gestão digital das operações, as capacidades de aumentação estão novamente direccionadas para a interação com o meio físico, digital e experimentação do contexto atual e de cenários hipotéticos. O gestor digital enquanto coordenador das diversas áreas funcionais da organização requer de ferramentas de suporte à análise, de simplificação da interpretação massiva de dados. Paralelamente, a capacidade de decidir de forma precisa e querente com os contextos organizacionais é tanto mais aprimorada quanto possível seja de experimentar os cenários hipotéticos a deliberar por o gestor digital. Deste modo, as ferramentas de aumentação no capítulo da gestão digital das operações estão direccionadas para a capacidade de imergir as pessoas na interpretação e análise do meio digital. Ferramentas de fusão físico digital (óculos de realidade aumentada ou mista) permitem ao gestor digital interpretar parte do meio físico através destas ferramentas, conferindo não só visibilidade, mas transparência em qualquer ponto.

#### **5.5.4. Gestor Digital – Cultura digital**

Ao nível cultural, a construção e definição de conhecimento deve ser encarado como uma das missões da organização, na sua digitalização, catalogação, âmbito e campo de aplicação do mesmo. Deste modo, a informação relevante percebida por o operador e gestor digital deve ser introduzida nos canais e sistemas de informação, existindo uma forte iniciativa e espírito de comprometimento de todos. Paralelamente, existe a

necessidade dos operadores e gestores digitais de estarem conscientes da importância que a informação tem para os demais departamentos e áreas organizacionais, exigindo a ambos uma visão global do que é valor para cada área organizacional e do seu nível de importância. É neste sentido que o reconhecimento de valor e nível de importância da informação é materializada numa cultura fractal, reproduzível de igual forma por cada pessoa que compõe a organização, numa visão sistêmica e transversal. A informação como matéria-prima da digitalização das operações deve ser encarada por cada pessoa como um dos seus objetivos diários, na sua catalogação e devido encaminhamento nos sistemas de informação.

A capacidade de ver com mais transparência e detalhe cada processo e grau de influência que cada recurso (material, equipamento ou humano) têm sobre o *output* do mesmo, exige a necessidade de se criar uma postura cultural totalmente direcionada para a melhoria contínua, para a aceitação, numa perspectiva de monitorização de oportunidades. A capacidade de o gestor digital ver com mais detalhe o que foi feito, quando, como e por quem, permitem um julgamento mais constante e direcionado. Deste modo, há que doutrinar os operadores para a aceitação e encarar todas as incursões e ideias como melhoria, numa jornada interminável pela perfeição operacional. Do ponto de vista de os gestores digitais, estes conseguem conduzir estas melhorias, introduzindo necessidades departamentais de outras áreas organizacionais numa abordagem global, mantendo a motivação dos operadores digitais. Competências de liderança, gestão do conflito, *soft skills* são competências humanas exigidas ao gestor digital. Numa era em que a tecnologia nunca teve tanto peso e importância para as operações organizações, é em simultâneo a era onde mais se exigirá das competências das pessoas, na gestão de relações, motivações e expectativas.

## 5.6. Nível avaliativo 2 – Dimensões de avaliação

No que respeita à construção das dimensões de avaliação do nível 2, a relação entre os vetores diretores e as áreas de avaliação é apresentada na tabela 9.

<b>Vetores</b> Áreas	Ativos colaborativos	Ativos automáticos	Descentralização transversal da informação	Fluxos bidirecionais de informação	Gestão global	Decisão descentralizada
Flexibilidade	20	22		26		
Rastreabilidade			24			
Autonomia	21					
Socialização						
Gestão de energia		23				
Transparência				27 30		34
Visibilidade				28		
Descrição			25			
Otimizar				29 31		
Operação						
Controlo e Gestão					32	35
Cultura					33	36
Experimentação						37
Aumentação						

Tabela 9 - Relação entre vetores diretores e áreas de avaliação do nível 2.

As correspondentes dimensões avaliativas da tabela 9 resultantes do posicionamento dos vetores diretores do nível 2 nas diversas áreas de avaliação são apresentados abaixo:

- 20 Ativos como elementos de suporte ao operador digital, identificando anomalias, eventos anómalos suportando o operador digital nas suas tarefas  
Controlo por parte do gestor digital dos modos de influência da colaboração entre
- 21 ativos e sistemas (influência que anomalias locais têm noutros ativos e processos remotos)
- 22 Automatismo dos ativos na operação digital das atividades
- 23 Ativos autónomos na gestão otimizada de recursos
- 24 Reconstrução do histórico operacional de ativos e processos

- Representatividade clara de padrões, previsões e modos de colaboração dos
- 25 sistemas e dos ativos para o gestor digital, com dados totalmente focados para a  
análise e tomada de decisão
- 26 Colaboração autónoma de ativos através das suas representações digitais
- 27 Identificação de padrões, tendências e modos de relacionamento entre processos e  
ativos
- 28 Integração automática entre sistemas de informação, plataformas e serviços de  
informação
- 29 Colaboração autónoma de sistemas de informação na otimização das operações
- 30 Controlo de todas as classes de ativos organizacionais (produtos portadores de  
informação, controlo de ativos sem conectividade digital a sistemas através de  
outros ativos)
- 31 Previsibilidade dos modos de operação de ativos, das necessidades dos processos  
e planeamento e da colaboração entre ativos e entre sistemas
- 32 Configuração autónoma entre ativos na adequação conjunta dos modos e formas  
de operação (falar na capacidade de ver noutros locais problemas e limitações  
locais)
- 33 Alinhamento cultural e das competências pessoais para a melhoria digital
- 34 Construção e sistematização digital do conhecimento (catalogação da informação,  
sistema apto para a definição entre causas e efeitos)
- 35 Decisão glocal por parte do gestor digital (alinhamento com a visão da  
organização)
- 36 Alinhamento cultural e das competências pessoais para a decisão descentralizada
- 37 Interfaces móveis de controlo virtual tanto de processos como de ativos e suas  
colaborações

## **5.7. Nível avaliativo 3 - Vetores diretores do Ecosistema digital das operações**

Dada a contextualização da gestão digital das operações ao nível local do ativo e da sua interação humano máquina (nível 1), da gestão interdepartamental (nível 2) de forma sistémica entre ativos e entre sistemas de diferentes contextos funcionais das operações, o nível terceiro, ecossistema digital das operações, dedica-se à interpretação da interação dos ativos e sistemas ao longo das cadeias de valor, tanto ao nível interno como externo à organização, contemplando o impacto e importância dos serviços e da gestão do ciclo de vida de ativos na gestão das operações. Os vetores diretores deste nível são:

- Ativos autónomos no controlo de processos
- Ativos como serviços
- Gestão digital do ciclo de vida dos ativos
- Cadeia de valor digital
- Fluxos bidirecionais de informação ao longo da CV

### **5.7.1. Cadeia de Valor Digital – A partilha global de informação**

A construção de uma envolvimento e funcionalidade digital da organização, foi apresentada nos dois primeiros níveis. O nível terceiro de avaliação, dedica-se à posição socio-digital da organização com os parceiros das cadeias de valor, clientes, entidades reguladoras e a comunidade envolvente.

As cadeias de valor 4.0 ocorrem em diversos níveis da organização, cruzando a organização em múltiplos sentidos, saindo e entrando por vários pontos das suas fronteiras digitais e físicas, envolvendo simultaneamente os níveis táticos e operacionais das operações, potenciadas por o número crescente de serviços digitais que diluem as fronteiras organizacionais e aproximam os intervenientes das CV. O número crescente de serviços, de entidades e parceiros que interagem através dos mesmos, conduz a um crescendo de interações numa cadeia de valor cada vez mais fragmentada e multidisciplinar.

Não existe somente a necessidade de contractar serviços para a manipulação e transformação dos produtos ou serviços produzidos pela organização. O conceito de serviço na era digital não se reduz a um campo de ação direcionado somente para o

produto ou serviço a produzir ou prestar. Os serviços especializados conferem à organização competências que ela por si só não materializa ou que não estão otimizadas. Organizações especialistas em áreas particulares fornecem serviços de elevado valor que suportam a organização nas suas necessidades de armazenamento ou manipulação de dados, resposta *on-demand* para necessidades de *softwares*, virtualização de *hardware*, serviços de manutenção remota de ativos, abrangendo serviços de consultoria de otimização de recursos e processos organizacionais. Estes serviços digitais abrangem tanto as infraestruturas digitais, sistemas, redes de conectividade, como os meios produtivos da organização, máquinas, robôs, impressoras 3D ou veículos autónomos.

Esta “*servicialização*” fragmenta as cadeias de valor, em que fragmentos das organizações são geridos por diversas outras organizações. A fragmentação diz respeito tanto a dados como a capacidades e funcionalidades digitais. A título de referência, considere-se o que podem ser fragmentos organizacionais:

- Anomalias e suas causas nos ativos, geridas através de serviços *cloud* por organizações dedicadas à manutenção ou pelos próprios fabricantes.
- Padrões e preferências de consumo, geridos por serviços *cloud* com recurso a algoritmos dedicados por organizações de aplicações particulares e customizadas ao estudo de tendências de mercado.

A fragmentação permite otimizar a área organizacional que é “*servicializada*”, mas, exige em contrapartida, a necessidade de um elevado nível de integração desses serviços e dos seus resultados de forma completa. Estes fragmentos organizacionais têm de ser geridos e integrados de forma fluída e agregadora nos sistemas da organização. Plataformas comuns de trabalho, sistemas de informação com integrações para partilha de dados automática com os sistemas dos parceiros das CV assumem esse papel aglutinante. A figura 27 faz alusão à fragmentação organizacional, em que fragmentos de informação (fragmentos do *Digital Twin* (padrões, dados referentes a *performance*, anomalias)) são partilhados ou geridos por outros elementos das cadeias de valor. Cabe às plataformas de partilha, serviços *cloud* ou sistemas de informação, integrar estes fragmentos numa rede completa e totalmente conectada. Algoritmos de validação da integridade dos dados, permitem a integração dos mesmos entre sistemas criando uma visibilidade comum entre organizações e criando um ecossistema automático de interações e partilhas. Serviços *cloud* aglomeram e aglutinam os diferentes sistemas dos parceiros através de plataformas de integração, *semantic WEB* e serviços dedicados

estabelecendo-se como *hub* integrador. A utilização de serviços *cloud* estende-se à proximidade e envolvimento com o utilizador/cliente dos produtos e serviços, permitindo que o mesmo monitorize ativos e processos ao nível da sua customização, localização e progresso produtivo.

O recurso a serviços de otimização permite analisar dados de forma mais precisa, definir formas de relacionamento atendendo à conjuntura global das operações, utilizando informação preparada para este propósito.

### **5.7.2. Fluxos bidirecionais de informação ao longo da CV**

Enquanto que os níveis avaliativos anteriores se dedicaram à construção da integração da informação ao nível intra e extradepartamental, o presente nível dedica-se à integração digital da envolvimento externa à organização na gestão das suas operações.

Os eventos ocorridos num qualquer parceiro ou ponto da CV, como estados de funcionamento de ativos, limitações processuais ou de qualquer outra natureza, vão impactar de forma direta ou indireta nas operações organizacionais. A construção de sistemas produtivos flexíveis requer de uma adaptação e condicionamento a estes eventos exigindo que a organização seja permeável a informação externa.

A construção de um ecossistema digital é central à integração de informação proveniente dos diversos elementos da CV, permitindo ajustar as operações em que fragmentos do *Digital Twin* interagem e são partilhados entre os processos organizações das cadeias de valor, representado esquematicamente na figura 27. Paralelamente, o ecossistema digital constrói relações de proximidade e de interações em tempo real com os diversos parceiros da CV.

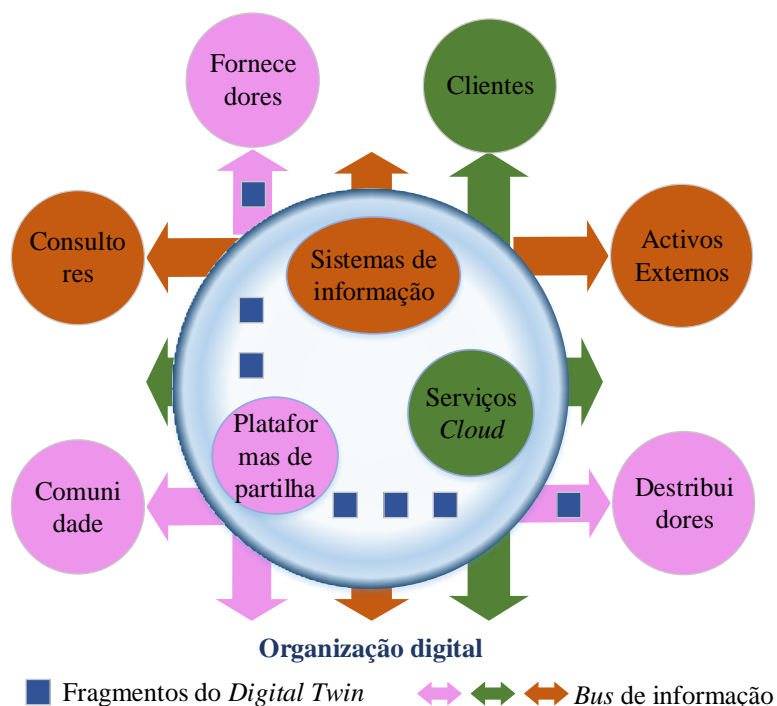


Figura 27 – Ecosistema Digital.

A permeabilidade dos sistemas de informação a dados externos permite construir uma base de dados da envolvimento e ecossistema circundante. Neste sentido, a *Big Data* assume um papel preponderante no tratamento, estruturação e integração de dados provenientes de diversos pontos da cadeia de valor. Os algoritmos de análise avaliam os dados e determinam o comportamento do ecossistema digital, identificando relações de causa efeito entre organizações, padrões, tendências e níveis de dependência entre eventos ocorridos com os diversos parceiros da cadeia de valor. Deste modo, o conceito de verdade organizacional é estendido além-fronteiras, aos modos de utilização dos produtos pelos seus utilizadores e consumidores, níveis de falha ao longo dos ciclos de vida que permitem definir necessidades de peças de substituição, serviços de assistência ou suportando o mapeamento dos efeitos das decisões, assumidas durante os processos de fabrico, na performance e competitiva do produto.

Há deste modo que conectar dispositivos e serviços externos à organização de forma a estender os poros de permeabilidade digital às suas fontes de informação, em que as interfaces de conversão físico digital estão próximas do foco e da necessidade, próximas do evento a monitorizar e mensurar, inserindo essa informação nos sistemas digitais construindo uma representatividade fidedigna e em tempo real.

Dado que a gestão eficaz das operações presume a necessidade de se analisar diversos fatores e parâmetros dos processos e dos elementos que os compõem, para as pessoas que se ocupam destas atividades, torna-se exaustivo a deliberação de uma decisão ajustada, considerando a globalidade de parâmetros e variáveis afetas às operações.

A previsibilidade no âmbito das operações consiste na utilização de dados atuais e dados históricos que permitam prever e expectar o nível de comportamento de processos, ativos e elementos das CV. A previsibilidade como conjunto de ferramentas e algoritmos de análise de padrões e comportamentos, suportam as pessoas nas suas tarefas de interpretação, análise e planeamento no que respeita ao consumo de recursos ou sequências de trabalho. Existe, contudo, primeiramente a necessidade de construir uma base de dados globalizada que corporize dados de diversas áreas e que os tenha disponibilizados numa estrutura escalável.

### **5.7.3. Ativos como gestores autónomos dos processos**

A integração horizontal entre os parceiros das cadeias de valor não se limita à interação entre sistemas de informação, estendendo-se também aos ativos. Os ativos como pontos de permeabilidade digital, são sensíveis às alterações do ecossistema permitindo que através dos seus atuadores e interfaces interajam com o mesmo. As organizações conseguem de forma remota, ajustar a sua configuração e *modus operandi* interno em função do cenário interpretado e partilhado pelos seus ativos em pontos remotos e externos às organizações. Deste modo, a capacidade de portabilidade de conectividade e de informação por parte dos ativos é central à sua colaboração, controlo e monitorização por parte das organizações tornando os ativos extensões externas dos sistemas de informação e serviços organizacionais. Paralelamente, a capacidade de os ativos externos interagirem diretamente com os ativos internos da organização asseguram o dinamismo do nível operacional. Capacidades de conectividade permitem rastrear os ativos, construir o seu histórico de localizações e, remotamente, interagir com o ecossistema.

Central a um ecossistema dinâmico e automático, está a capacidade de os ativos colaborarem de forma automática e autónoma entre si. Os ativos localizados externamente à organização requerem de um grau de independência e autonomia na interação com os demais ativos, sistemas e utilizadores/clientes. O emparelhamento e

colaboração de ativos pode ocorrer diretamente entre ativos e sistemas de informação externos através da sua representação virtual na *cloud*. Necessidades de portabilidade das competências de conectividade e emparelhamento, de informação e computação, para a partilha de dados, tratamento, análise e integração são centrais à construção de um “enxame” autoajustável de ativos que interagem e se adaptam mutuamente às alterações da envolvente externa. Vários desafios se colocam a este nível. A capacidade de se definir o que são dados relevantes a partilhar, com que ativos partilhar, que dados pesquisar e, seguidamente, o que fazer com esses mesmos dados é por si só um desafio.

Os ativos externos à organização têm a sua representação digital alojada na *cloud* acessível à organização e/ou aos diversos parceiros das cadeias de valor através de serviços *cloud*. Os serviços *cloud* assumem um papel principal no ecossistema digital, permitindo partilhar fragmentos do *Digital Twin* como a representatividade digital dos ativos nomeadamente a sua localização, estado de funcionamento, nível de anomalias, número de conexões e parâmetros específicos necessários ao controlo e gestão. Políticas de segurança têm de ser estabelecidas, definindo tipologias de dados a partilhar, níveis de acesso respeitando condições legais de preservação de património intelectual e confidencialidade.

A visibilidade proveniente da conectividade à *cloud* permite orientar os ativos para o que é a realidade da organização, às suas necessidades e que prioridades assumir na forma como interage com o ecossistema e nas relações de colaboração com os parceiros, ativos, clientes e sistemas/serviços das cadeias de valor. Deste modo, as colaborações podem ser reconfiguradas, iniciadas e terminadas automaticamente e remotamente. No seguimento do descrito, os ativos no ecossistema digital não se limitam a ser uma extensão dos sistemas de informação. Aliada à sua capacidade de análise de dados e de interação com a envolvente circundante, os ativos assumem um papel proactivo de autocontrolo e ajuste do ecossistema digital. Munidos de capacidades interpretativas do meio envolvente e de capacidades de decisão autónoma através de algoritmos de análise e de capacidade de processamento de dados, os ativos agem sobre outros ativos com os quais estão emparelhados, em colaboração, alteram parâmetros dos sistemas a que estão conectados ou, influenciam pessoas através das suas interfaces. Deste modo, a qualidade dos dados que recolhe, as prioridades que os ativos têm definidas localmente, as prioridades dos sistemas e serviços a que estão ligados e, os algoritmos de controlo e validação das decisões são centrais à definição comportamental dos ativos.

Deste modo, os ativos são uma extensão da vontade organizacional, agindo de acordo com o que são as prioridades e os interesses táticos e operacionais.

A abordagem de independência e autonomia de ação dos ativos sobre o ecossistema está assente no princípio da operacionalidade fractal. Este princípio dita que cada ativo está orientado para as prioridades e necessidades globais das operações, reconhecendo localmente as suas necessidades, agindo e decidindo autonomamente no que concerne aos modos de operação e condicionamento do meio envolvente. Este princípio é definido como fractal dado que cada ativo está capacitado de decidir localmente seguindo os mesmos princípios que os sistemas globais de informação da organização. O ativo é uma representação a uma escala reduzida e a um nível local, em que as decisões seguem as regras e princípios globais da visão organizacional.

#### **5.7.4. Ativos como serviços**

Este princípio da operacionalidade fractal coaduna com a ideia de que os ativos são elementos prestadores de um serviço. Enquanto que um ativo sem quaisquer capacidades de comunicação ou de autonomia está integralmente dependente de controlo e gestão externa, ativos com nível de independência fornecem capacidade produtiva, capacidade de autocontrolo e gestão, funcionando como um serviço integrado. Estes ativos detêm capacidades locais de autogestão, mas estão continuamente conectados a serviços *cloud* de gestão global. Deste modo os ativos convergem para o conceito de prestadores de um serviço de produção geridos por serviços *cloud* de informação e macrogestão. As organizações totalmente virtuais são constituídas por esta rede de serviços que, desprovidas de quaisquer ativos, contratam serviços *cloud* que gerem os ativos que não detêm.

Numa segunda perspetiva afeta à abordagem dos ativos como serviços, é de referir que os ativos são os elementos centrais no ecossistema digital de interação com o meio físico. Os ativos são elementos produtores de informação, caracterizando digitalmente o meio físico reportando aos sistemas de informação utilizados pelas pessoas no controlo e gestão. Deste modo, os ativos são um serviço de fornecimento de informação, que exige primeiramente a sua conversão (permeabilidade digital do nível 1), o tratamento local e sua partilha (ativos portadores de informação do nível 2) tornando-se autónomos na

decisão e na forma como influenciam o meio envolvente (ativos autónomos no controlo de processos do presente nível).

### **5.7.5. Gestão digital do ciclo de vida de ativos**

A customização de produtos e serviços num mercado cada vez mais global e variado, aliada à redução do volume dos lotes de produção e dos ciclos de vida conduz, à necessidade central de gerir o ciclo de vida dos produtos e serviços. Produtos e serviços são parte central do propósito e contributo da organização para o ecossistema no qual está inserida constituindo-se como elemento central de competitividade e subsistência organizacional.

A integração digital das diversas fases do ciclo de vida, desde o seu desenvolvimento, produção, atualização e desmantelamento/descontinuação é central para o mapeamento de necessidades, cumprimento de expectativas e reconhecimento de pontos de melhoria a integrar futuramente nas operações. Mapear necessidades de um produto ou serviço consiste em estabelecer ao longo do ciclo de vida, parâmetros, instantes e relações entre processos que impactuam as mesmas, que estão diretamente relacionadas com a satisfação das mesmas. A integração digital do ciclo de vida implica integrar as necessidades de engenharia, desenvolvimento, qualidade, logística, manutibilidade e usabilidade pelas diversas fases através de uma abordagem digital global, sem disrupções de um extremo ao outro das diversas cadeias de valor. Deste modo, as necessidades de customização e alterações aos produtos e serviços, provenientes de uma área organizacional devem ser propagadas e visíveis às demais. Estas alterações imprimem condições e mutações aos processos produtivos que impactam. Paralelamente, as atualizações e alterações são partilhadas pelos diversos intervenientes das cadeias de valor, que integram as diversas fases do ciclo de vida, através das plataformas comuns de informação.

Uma relação de proximidade com clientes, fornecedores, distribuidores e equipas de marketing é necessária de forma a que as operações de inovação de produtos/serviços fluam através de um bus de informação constante permitindo que a organização e os diversos parceiros estejam conscientes do seu papel e contributo neste modelo de inovação aberto e dinâmico.

Intrínseca às operações de inovação estão as necessidades de rápida experimentação e simulação de produtos e serviços. Impressoras 3D assumem um papel central neste aspecto, permitindo às organizações testarem em espaços de tempo reduzidos a complexidade dos produtos. Plataformas de simulação permitem testar formas de uso de produtos e serviços, permitindo aos parceiros e clientes testarem possíveis cenários e darem *feedbacks* mais objetivos. Auscultar o grau de cumprimento e satisfação de expectativas de clientes, utilizadores, parceiros e a comunidade circundante, é central à gestão da inovação de produtos e serviços. Serviços *cloud*, munidos de algoritmos de análise, avaliam a forma como os mesmos são usados, preferências dos seus utilizadores e consequências na performance em função de problemas e anomalias.

As capacidades conferidas às organizações pela integração do ciclo de vida dos seus produtos permitem diminuir a distância entre o desenvolvimento e utilização do produto [21]. A integração do ciclo de vida na perspetiva do produto/serviços (*output* organizacional), tem como grande objetivo permitir que as diversas fases de operação ao longo dos diversos departamentos se adaptem de forma ótima às necessidades oriundas de requisitos dos clientes ou de elementos da CV.

A integração do ciclo de vida de produtos e serviços tem subjacente a condição de proximidade digital entre parceiros e clientes. A capacidade de reportar rapidamente as necessidades para a customização de produtos e serviços faz com que os clientes tenham uma voz mais ativa na organização e um maior poder sobre a configuração dos seus produtos/serviços. A capacidade de trazer o cliente para o seio da organização é central ao desenvolvimento de produtos assentes em factos digitais. Interfaces e softwares presentes nos produtos de interação com o cliente e utilizador, serviços *cloud* de monitorização e quantificação das experiências de utilização são centrais à construção desta proximidade. Inversamente, a capacidade de trocar rapidamente informação com os diversos parceiros permite uma rápida validação de designs permitindo uma inovação contínua.

Gerir digitalmente o ciclo de vida dos ativos implica gerir os meios com que os processos e atividades organizacionais são executadas, sendo um requisito central à gestão das operações. A troca de dados referentes a formas de uso dos ativos, preferências de configuração ou consequências na performance e longevidade de componentes face a problemas e anomalias permite compreender limitações no decorrer dos processos produtivos ou desvios nas taxas de anomalias.

### 5.8. Nível avaliativo 3 – Dimensões de avaliação

No que respeita à construção das dimensões de avaliação do nível 3, a relação entre os vetores diretores e as áreas de avaliação é apresentada na tabela 10.

Vetores Áreas	CV digital	Fluxos bidirecionais de informação ao longo da CV	Ativos como gestores autónomos dos processos	Ativos como serviços	Gestão digital do ciclo de vida de ativos
Flexibilidade	38			47	
Rastreabilidade					
Autonomia			42	46	
Socialização	39		43		
Gestão de energia			44		
Tansparência		40			48
Visibilidade					
Descrição					
Otimizar		41			
Operação			45		
Controlo e Gestão					
Cultura					
Experimentação					49
Aumentação					

Tabela 10 - Relação entre vetores diretores e áreas de avaliação do nível 3.

38 Ajustabilidade de serviços, plataformas e sistemas *on demand*

39 Interoperabilidade entre sistemas de informação, plataformas de partilha e serviços

- 40 Serviços de análise de modos de uso e consumo dos produtos e serviços produzidos
- 41 Serviços de otimização de interações de plataformas, análise de dados e previsão
- 42 Ativos como gestores autónomos da conectividade, sensibilidade e atuação no meio envolvente
- 43 Ativos ou serviços cloud de conexão de ativos, partilha de informação e tratamento de dados
- 44 Serviços de gestão e otimização de energia
- 45 Ativos como extensões dos sistemas de informação no controlo, gestão de processos e gestão energética
- 46 Ativos e serviços cloud como elementos decisores no que respeita as necessidades locais dos processos dos aivos conetados
- 47 Serviços de controlo e operação de ativos
- 48 Plataformas de controlo de cumprimento de expetativas e de integração de necessidades ao longo do ciclo de vida
- 49 Rápida experimentação e simulação de alterações a processos, produtos e serviços

## **6. Variáveis avaliativas**

As variáveis avaliativas provêm da conjugação das capacidades avaliativas com as dimensões avaliativas definidas nas componentes estruturais e avaliativa respetivamente. É, deste modo, necessário definir a metodologia subjacente à combinação destas duas componentes.

### **6.1. Metodologia construtiva das Variáveis Avaliativas**

O foco da abordagem construtiva das variáveis avaliativas objetiva a transposição e contextualização das capacidades avaliativas no contexto organizacional. As capacidades avaliativas são de cariz abstrato, global, imunes às especificidades organizacionais. Assumiu-se como prioridade construtiva a transição desta abstração ao contexto organizacional. Existe deste modo a necessidade de posicionar estas capacidades avaliativas num contexto organizacional, definindo-se condições de operação digitais que estas mesmas capacidades devem materializar. As capacidades avaliativas são responsáveis pela orientação digital da avaliação ao passo que as dimensões avaliativas conferem a direção e objetividade avaliativa nos elementos organizacionais e o seu contexto e áreas de aplicação.

Para esta abordagem, construiu-se uma matriz relacional definindo as capacidades centrais e necessárias à materialização das capacidades digitais da organização.

		Capacidades Avaliativas																
		CA1.1	CA1.2	CA1.3	CA1.4	CA1.5	CA1.6	CA2.1	CA2.2	CA2.3	CA3.1	CA3.2	CA3.3	CA4.1	CA4.2	CA4.3	CA4.4	CA4.5
		Capacidade Sensorial	Capacidade de Actuação	Integrabilidade Digital	Capacidade Computacional	Interfaces com o Humano	Portabilidade da Informação	Integrabilidade de protocolos	Portabilidade da Conectividade	Descoberta de dispositivos	Análise de Dados	Virtualização Organizacional	Concepção de Conhecimento	Representação virtual	Gestão através dos artefactos digitais	Colaboração entre activos	Colaboração entre sistemas	Gestão automática
Dimensões Avaliativas	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	6																	
	7																	
	8																	
	9																	
	10																	
	11																	
	12																	
	13																	
	14																	
	15																	
	16																	
	17																	
	18																	
	19																	

Figura 28 – Relação das capacidades avaliativas com nível avaliativo 1.

		Capacidades Avaliativas																
		CA1.1	CA1.2	CA1.3	CA1.4	CA1.5	CA1.6	CA2.1	CA2.2	CA2.3	CA3.1	CA3.2	CA3.3	CA4.1	CA4.2	CA4.3	CA4.4	CA4.5
Dimensões Avaliativas	20																	
	21																	
	22																	
	23																	
	24																	
	25																	
	26																	
	27																	
	28																	
	29																	
	30																	
	31																	
	32																	
	33																	
	34																	
	35																	
	36																	
	37																	

Figura 29 – Relação das capacidades avaliativas com nível avaliativo 2.

		Capacidades Avaliativas																
		CA1.1	CA1.2	CA1.3	CA1.4	CA1.5	CA1.6	CA2.1	CA2.2	CA2.3	CA3.1	CA3.2	CA3.3	CA4.1	CA4.2	CA4.3	CA4.4	CA4.5
		Capacidade Sensorial	Capacidade de Actuação	Integrabilidade Digital	Capacidade Computacional	Interfaces com o Humano	Portabilidade da Informação	Integrabilidade de protocolos	Portabilidade da Conectividade	Descoberta de dispositivos	Análise de Dados	Virtualização Organizacional	Concepção de Conhecimento	Representação virtual	Gestão através dos artefactos digitais	Colaboração entre activos	Colaboração entre sistemas	Gestão automática
Dimensões Avaliativas	38																	
	39																	
	40																	
	41																	
	42																	
	43																	
	44																	
	45																	
	46																	
	47																	
48																		
49																		

Figura 30 – Relação das capacidades avaliativas com nível avaliativo 3.

### 6.1.1. Posicionamento Tecnológico

Dado que a I4.0 é materializada através de tecnologias centrais definidas no capítulo segundo, parte da avaliação será dedicada à aferição da aplicabilidade e funcionalidade das mesmas no contexto organizacional. As tecnologias que compõem a I4.0 representam uma panóplia vasta, num campo de aplicações diversificado, estendendo-se de máquinas a infraestruturas ao ecossistema exterior. Deste modo, a necessidade de suportar uma avaliação objetiva, exige primeiramente a compreensão da distribuição destas tecnologias no contexto da organização. O anexo 1 apresenta a catalogação e mapeamento das tecnologias centrais à I4.0, posicionadas em relação às capacidades avaliativas, à tipologia de ativos, às pessoas e ao ecossistema externo. O seu

posicionamento está dado face às capacidades avaliativas pois as mesmas são criadas a partir do estudo dos valores tecnológicos e da I4.0.

### **6.1.2. Âmbitos Avaliativos**

Construir uma avaliação que abranja a organização no seu todo é parte do objetivo da avaliação. Dada a complexidade das organizações, há a necessidade de garantir que a avaliação seja global, estendida a todas as áreas e departamentos e, em simultâneo, mantenha o foco e objetividade avaliativa. As estruturas organizacionais têm visto as suas fronteiras departamentais a desvanecerem-se, transitando para estruturas mais orgânicas, cooperantes e funcionais. As necessidades dos novos modelos de negócio implicam a construção de sinergias entre departamentos, diluindo fronteiras e momentos de implicação. Assuma-se o caso do desenvolvimento e Inovação do Produto. Dada a necessidade de se criar soluções globais e ajustadas ao funcionamento da organização como um todo, necessidades de desenvolvimento ou alterações ao Produto pode ser originada nos departamentos dedicados à Inovação e Desenvolvimento, mas também nos departamentos de Produção, dada uma necessidade de construção ou da experimentação e feedback do cliente durante o seu uso. A ICV, central à I4.0, tem conceptualmente subjacente a necessidade de gerir alterações e inovações ao longo das diversas fases do ciclo de vida. Deste modo, a avaliação digital da organização, no que respeita à Inovação e Desenvolvimento poderá ocorrer em diversas fases do ciclo de vida do produto e em diversos departamentos não se cingindo somente ao departamento de Inovação e Desenvolvimento. É neste contexto que é assumida a necessidade de considerar âmbitos ao invés de departamentos ou áreas organizacionais. Esta abordagem exige no momento do seu emprego uma aproximação holista e direcionada para o que são as necessidades de gestão e controlo de produtos e serviços. Por seu turno, a progressão tecnologia e necessidades dos mercados conduzem à inovação dos modelos de negócio. Num futuro próximo, novas áreas e departamentos organizacionais irão ser definidos convergindo. Uma escolha diretamente relacionada a

A aplicação da avaliação subdivide-se em âmbitos funcionais não estando direcionada para áreas específicas da organização. Os âmbitos organizacionais considerados para avaliação são a Pesquisa e Desenvolvimento, Produção e Operações, Qualidade, Logística, Manutenção e, Vendas e Marketing.

## 6.2. Contabilização Avaliativa

O método de avaliação tem como abordagem a aplicação da Escala de *Likert*, em que cada variável avaliativa é pontuável numa escala de 0 a 4.

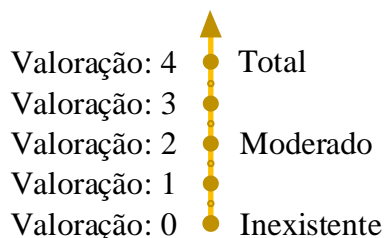


Figura 31 – Escala Avaliativa.

O nível de digitalização global (DG) é conseguido através do cálculo da média aritmética das Variáveis Avaliativas (VA).

$$DG = \frac{\sum_{k=1}^n VA_k}{n}$$

## 6.3. Variáveis Avaliativas

As Variáveis Avaliativas construídas desde a confrontação das capacidades avaliativas e as dimensões avaliativas são apresentadas no anexo 2 e 3. Cada Variável avaliativa pode ser aplicada a qualquer âmbito avaliativo. As variáveis avaliativas são aplicadas a cada âmbito de avaliação. De forma a compreender a posição digital na organização, as variáveis avaliativas estão posicionadas face a cada dimensão de avaliação.

## **Capítulo IV – Aplicação do Modelo Avaliativo através de um caso de estudo**

## **7. Caso de Estudo**

O caso de estudo desenvolvido no presente trabalho apresenta um cariz exploratório e explanatório, dado o relativo desconhecimento do problema em análise procurando encontrar relações nos princípios do modelo avaliativo proposto.

O Elemento de Análise do caso de estudo é uma organização prestadora de serviços do sector de atividade terciário.

### **7.1. Método**

#### **7.1.1. Objetividade**

No seguimento da pertinência do presente trabalho, as perguntas centrais a que o mesmo se propõe a responder, são:

- Qual o nível de digitalização organizacional?
- Qual o nível de digitalização nas diferentes áreas organizacionais?
- Quais as limitações e constrangimentos digitais?

De forma a responder sustentadamente às perguntas centrais, os dados recolhidos têm de cobrir toda a amplitude do elemento de análise, todas as suas áreas de funcionamento e âmbitos operacionais, permitindo constatar factos que representem a veracidade digital do elemento de análise.

Para que a avaliação seja credível, tem de ser precisa e de fácil aplicação nos diversos âmbitos de avaliação, permitindo que seja aplicada exaustivamente. As necessidades de precisão conduzem à necessidade forçosa de compreensão por parte dos representantes do elemento de análise, que respondem às perguntas avaliativas, dos objetivos e critérios da avaliação.

### **7.1.2. Inquérito como método de recolha de dados**

O *output* do modelo avaliativo desenvolvido no capítulo III, é o conjunto de variáveis avaliativas que são aplicadas aos diversos âmbitos organizacionais. Deste modo, essas mesmas variáveis formam o inquérito de avaliação cuja avaliação é direcionada para os âmbitos avaliativos apresentados no capítulo 6.1.2.

Não sendo a amostragem de análise aleatória, dado que as pessoas que respondem ao inquérito de cada área da organização avaliada estão diretamente relacionadas com a área a avaliar, as mesmas foram incentivadas a manter uma visão imparcial, direcionando-as para as necessidades da veracidade e, objetivos do inquérito.

Existe a necessidade de garantir o maior número possível de perguntas por cada área organizacional de forma a garantir a globalidade da avaliação, assegurando paralelamente um maior número de evidências.

### **7.1.3. Envolvimento Avaliativo**

Dado que o investigador é funcionário da organização a avaliar, a capacidade de experienciar casos práticos e estar consciente da realidade organizacional, faz com que as pessoas envolvidas deem respostas de forma séria e consciente. A capacidade de acesso às ferramentas e informação por parte do investigador, permite apurar e suportar as pessoas inquiridas em respostas precisas e enquadradas no contexto da avaliação. Em última instância, a capacidade de ver valor nas competências materializadas pelas tecnologias da I4.0 permite que as pessoas tenham uma postura proactiva e de interesse em avaliar o quão digital são as suas ferramentas e ecossistemas nos quais trabalham.

### **7.1.4. Condições de desenvolvimento do Inquérito**

Os entrevistados são sujeitos à apresentação do inquérito esclarecendo qualquer subjetividade de qualquer questão, fazendo-se um enquadramento tecnológico com recurso ao estado da arte e ao anexo 1. Dada a complexidade e carácter inovador da I4.0, o enquadramento das pessoas foi alargado ao que são os seus valores e princípios, trazendo o descortinar de qualquer dúvida.

No que respeita o enquadramento da digitalização organizacional, a I4.0 foi apresentada às pessoas enquanto 4ª revolução industrial. Paralelamente, deu-se importância às necessidades de transitar para a I4.0, como condições centrais de competitividade e subsistência da organização, com a finalidade de contextualizar as pessoas no que será a conjuntura e tecidos empresariais do futuro.

A amostra de pessoas inquiridas está diretamente envolvida com as diversas áreas da organização, estando distribuída entre responsáveis e utilizadores dos sistemas e ferramentas de forma a garantir uma avaliação periférica e precisa.

## **7.2. Elemento de análise**

### **7.2.1. Contexto organizacional**

O elemento de análise é uma organização do sector dos serviços, cujas principais tarefas se distribuem maioritariamente em suporte técnico, remoto ou nas instalações dos clientes, formações, instalações e manutenção de máquinas e softwares e, consultoria (inseridas no âmbito de produção e operações).

A organização em análise é uma sucursal em Portugal que se dedica ao *outbound* da cadeia de valor que começa na sua sede. A sede é responsável por o desenvolvimento e fabrico de equipamentos industriais, pesquisa e desenvolvimento de softwares e, da definição das condições macro estratégicas

O suporte técnico é realizado via telefone ou *in situ* em função das necessidades das intervenções, tanto para as máquinas como para os softwares. A organização dispõe de software dedicado às necessidades do departamento de suporte técnico, tanto ao nível de planeamento, como de gestão de peças e consumíveis, rastreio de eventos e contactos com a sede para suporte a casos em que a sucursal não dispõe de meios.

As formações são realizadas em sala ou nas instalações dos clientes dependentemente do tipo de equipamentos ou softwares e, complexidade.

A organização dispõe também de um departamento de marketing, vendas, finanças, gestão de peças, recursos humanos e de gestão das políticas e condições de proteção de dados. O departamento de peças é maioritariamente absorvido por o âmbito de logística sendo parte das tarefas desenvolvidas por os técnicos de suporte nas suas

operações. Deste modo, os técnicos de suporte respondem a perguntas relativas ao âmbito da logística.

Relativamente ao número de funcionários, a organização em estudo é composta por 20 funcionários.

O ciclo médio desde a venda de um equipamento até ao seu arranque nas instalações do cliente é em média de 3,5 meses. O tempo médio de venda de software até ao seu arranque nos computadores dos clientes é em média de 1 mês.

### **7.2.2. Mapeamento das Operações do Elemento de Análise**

A compreensão das limitações e constrangimentos digitais da organização implica primeiramente o mapeamento das relações e dependências das suas áreas de operação. Necessidades locais podem advir de condições e informações geradas de qualquer outra área organizacional. Deste modo, existe a necessidade de mapear as relações entre os âmbitos de avaliação e as diversas tarefas de operação da organização. O Anexo 4 apresenta a forma como a organização tem as suas tarefas estruturadas. Este mapa da organização permite definir a aplicabilidade de uma pergunta e compreender as limitações e implicações entre departamentos. Considere-se o caso das operações de formação executadas para clientes. A formação a clientes advém da aquisição de um novo equipamento ou de um novo software por parte dos clientes. Neste seguimento, as formações estão no caminho crítico da capacidade de operação de máquinas e equipamentos por parte dos clientes. Por último, a capacidade de operação de máquinas e softwares por parte do cliente é também condição necessária para que os mesmos sejam dados como aceites e pagos pelos clientes e, os projetos dados como terminados. Deste modo, a informação referente às datas de agendamento de formações, níveis de aceitação qualitativa das mesmas e datas reais de realização são importantes para os departamentos de gestão de projetos e de operações financeiras. A informação deve fluir entre os diversos sistemas, sem recorrer a plataformas externas, não integrados, de gestão individualizada ou, constituindo-se como disrupções ao longo do fluxo de informação.

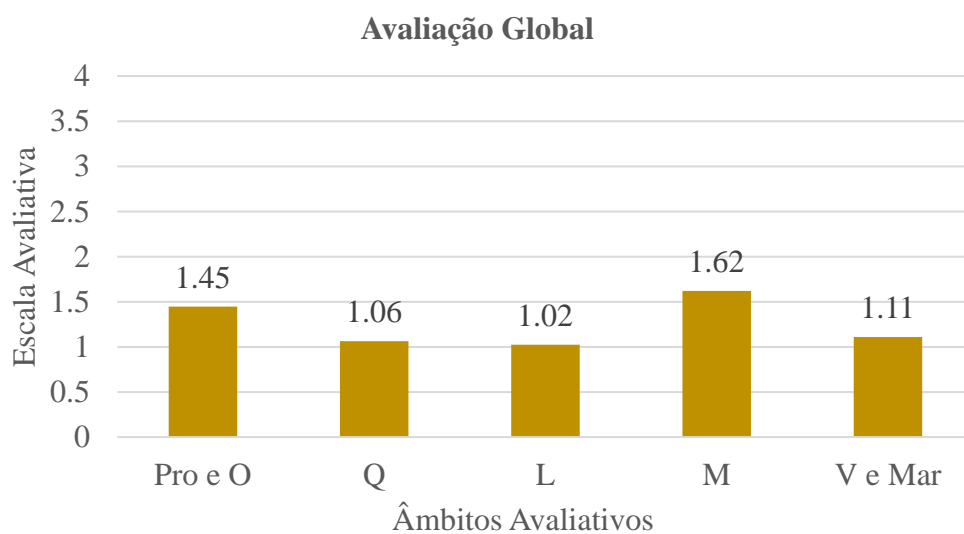
### 7.3. Teste do Modelo

O inquérito avaliativo foi aplicado aos diversos âmbitos da organização. O âmbito de Pesquisa e Desenvolvimento não foi envolvido na pesquisa dado que a organização em estudo não apresenta atividades inseridas neste contexto. Os valores de cada variável Avaliativa atribuído a cada âmbito avaliativo são apresentados no Anexo 5 e 6.

#### 7.3.1. Avaliação Global

A compreensão do contexto digital da organização exige à adoção de uma abordagem *top down*, interpretando primeiramente o contexto global e relacional entre os diversos âmbitos avaliativos, particularizando em seguida às dimensões de avaliação.

A partir da aplicação do inquérito é possível extrair análises micro e macro do nível de digitalização da organização. No que concerne ao nível de DG, a organização apresentou um valor de 1,25, próximo do patamar digital classificado de restrito. Ao nível da pontuação digital de cada âmbito avaliativo, a avaliação é apresentada no gráfico 1.



Pro e O – Produção e Operações

M - Manutenção

Q – Qualidade

V e Mar – Vendas e Marketing

L – Logística

Gráfico 1 – Avaliação global apresentado sobre os âmbitos avaliativos

Denota-se através do gráfico 1 uma coerência digital entre os diversos âmbitos de avaliação sendo a dispersão máxima entre os âmbitos de qualidade e logística com o de Manutenção (M).

A organização em estudo apresenta-se como prestadora de serviços, com as suas tarefas diárias suportadas em softwares de dados, comunicação e planeamento. Contudo, o inquérito quantificou o que através do Anexo 4 se tornou evidente. A organização apresenta para a realização das suas tarefas num conjunto de softwares sem qualquer tipo de integração comum, em que os canais de comunicação são unidirecionais e totalmente manuais. Esta estrutura fragmentada apresenta-se como um dos constrangimentos centrais à estruturação digital do modo de funcionamento da organização não só para a IV, mas também para a IH além das fronteiras organizacionais.

A não existência de um sistema global, de informação global, conduz à necessidade que cada pessoa seja proactiva e que tenha iniciativa na partilha de dados que considera central para a gestão da organização. São as pessoas que definem os formatos, tipologias, frequência e prioridades na partilha da informação e, como são partilhados os dados para os diversos departamentos da organização. Esta “adjudicação” da gestão dos *buses* de informação às pessoas exige por consequência uma cultura digital ao longo de toda a organização. Das perguntas colocadas sobre as condições da cultura digital, denota-se uma clara disrupção entre as pessoas dos diversos âmbitos avaliativos. O âmbito da qualidade apresentou as piores avaliações enquanto que o âmbito das operações e produção o maior nível de querência ao longo das perguntas. As pessoas dos âmbitos de operação e produção estão continuamente dependentes de informação e conhecimento, da forma como se instala, monitoriza ou se faz *troubleshooting* aos equipamentos e softwares que gerem, estando consciencializada do valor que a informação e o conhecimento digitalizado aportam. É neste sentido que apresentam uma avaliação mais alta às variáveis avaliativas 30 e 31. No que respeita a qualidade, este âmbito é encarado como um conjunto de procedimentos necessários de comprovação e justificação a procedimentos e autoridades, ao invés como um conjunto de tarefas de manutenção da qualidade dos serviços, conhecimentos e identificação de melhorias. Por consequência, a informação do âmbito da qualidade é encarada de uma perspectiva de valor local, sem interesse para os demais departamentos.

### 7.3.2. Distribuição das dimensões Avaliativas na Organização

Compreender globalmente o nível de digitalização da organização implica interpretar o quão digital é a organização nas diversas dimensões avaliativas. Deste modo, o gráfico 2 destina-se a expressar o descrito.

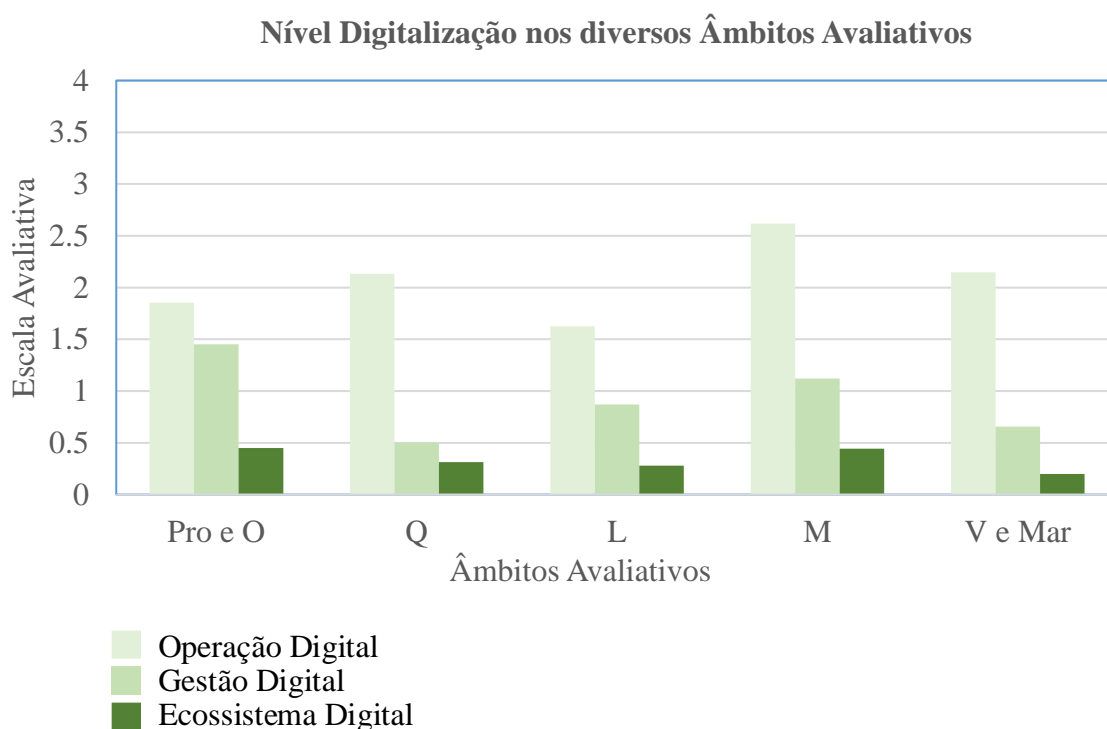


Gráfico 2 – Nível de digitalização nos diversos âmbitos de avaliação.

Denota-se um padrão organizacional no que respeita às dimensões de maior preponderância digital na organização esboçado no gráfico 2. As variáveis avaliativas pertencentes à operação digital são as que apresentam maior preponderância. Este padrão sustenta o argumento de que a organização está mais centrada em fornecer ferramentas digitais locais, direcionadas para cada âmbito, departamento ou área de ação, não existindo plataformas de digitalização transversais. Tal como descrito no subcapítulo anterior, cabe às pessoas da organização assumirem as necessidades de coesão digital. É neste sentido que uma cultura digital é central, de forma a contrariar e a mitigar parte das limitações oriundas da não sistematização da informação nas diversas tarefas e departamentos.

Dado que cerca de 70% dos ativos organizacionais são computadores (os demais 30% são ferramentas manuais e de diagnóstico), é no departamento de manutenção que o nível de operação digital é mais elevado dado que o meio de atividade é grandemente desenvolvido em contexto digital, conforme gráfico 2. Relativamente aos âmbitos de logística e operações e produção, o nível de operação digital é o mais baixo. Ambos os âmbitos lidam com os 30% de ativos não computacionais como ferramentas manuais e dispositivos de diagnóstico. Estas ferramentas e dispositivos não estão conectados em rede não existindo quaisquer plataformas de integração de dados ou de gestão de rastreabilidade. Deste modo, parte da penalização provém deste contexto. Os âmbitos de qualidade, de vendas e marketing apresentam uma taxa de não aplicabilidade das perguntas de operação digital de 40% e 32% respetivamente pelo facto de não lidarem com ativos (à exceção das ferramentas computacionais). É de referir que parte das ferramentas manuais não requerem de uma integração digital para benefício da operação e gestão digital tendo sido considerada esta condição na avaliação. Contudo, a gestão da localização das caixas de ferramentas, reconhecendo a sua localização, dado que estão distribuídas ao longo de todo o território nacional, é de relevância para as necessidades planeamento das tarefas de manutenção e instalação de equipamentos. Dispositivos de diagnóstico possuem dados relevantes cuja integração e catalogação automática dos diagnósticos efetuados é relevante para a construção da base de dados de conhecimento e *troubleshooting*, mas, esta integração e partilha não é realizada de forma automática e sistémica. Mediante o descrito, é notório que os âmbitos que lidam com ativos físicos não computacionais, apresentam uma maior penalização na avaliação digital.

No que concerne ao ecossistema digital, e através do anexo 4, denota-se que os *buses* de informação da organização são os sistemas Excel e correio eletrónico, estabelecendo as pontes de comunicação entre sistemas departamentais. Esta condição assume-se como uma limitação na aquisição de serviços *cloud*, tanto de plataformas como e softwares dado que a informação é dispersa não seguindo standards ou padrões necessários à importação e tratamento desses mesmos serviços. Apesar de existir um reconhecimento moderado das necessidades de partilha de dados e troca de informação sistematizada entre os diversos parceiros das cadeias de valor por parte das pessoas, a destruturação da informação inviabiliza esta possibilidade.

A realização das tarefas de suporte, instalação e formação por parte das equipas técnicas, requer de autonomia e autogestão dado que cerca de 90% das tarefas são

realizadas individualmente. É neste seguimento que o âmbito das operações e produção apresentam a pontuação mais elevada no que respeita a gestão digital das operações. As pessoas que incorporam as equipas técnicas apresentam elevada autonomia digital, existindo uma consciencialização das necessidades de partilha de informação e construção de conhecimento de forma sistematizada nos sistemas de informação. No entanto, dada a elevada variabilidade do tipo de tarefas a realizar (dependente do tipo e quantidade de avarias em máquinas em todo o país) e das condições económicas dos diversos sectores industriais (determinam a aquisição de novos equipamentos e consequentemente as necessidades de instalações e formações), é necessário conferir às equipas técnicas um elevado nível de gestão digital suportando as necessidades diárias das operações. É de referir que no âmbito das operações e produção o nível de operação digital é o segundo mais baixo.

No subcapítulo seguinte é realizada uma análise independente a cada âmbito analisando-se cada dimensão avaliativa

### **7.3.3. O Âmbito da Produção e Operação**

O âmbito de produção e operação dedica-se às tarefas de suporte, instalação e formação técnica. No que respeita à sua avaliação, denota-se através da linha de tendência no gráfico 3 uma superioridade das dimensões avaliativas relativas à operação digital (1.n) face às dimensões avaliativas da gestão digital das operações (2.n). Tal como referido no subcapítulo anterior as variáveis avaliativas referentes ao ecossistema digital (3.n) apresentam as avaliações mais baixas.

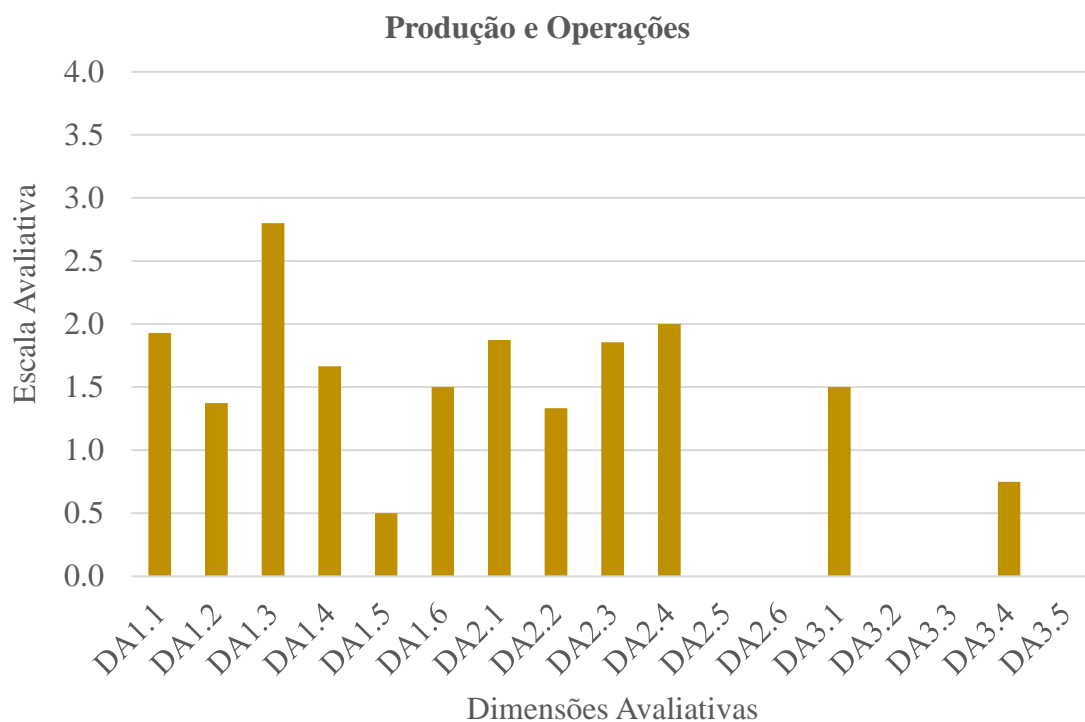


Gráfico 3 – Avaliações por dimensão Avaliativa do âmbito Produção e Operações.

Denota-se no gráfico 3 que as avaliações mais elevadas no âmbito da produção e operações é referente à dimensão 1.3 – ativos como elementos de permeabilidade digital. Dado que a organização tem parte das suas tarefas realizadas maioritariamente em contexto digital através de dispositivos computacionais, as variáveis referentes ao uso de ativos como elementos de visibilidade, e de necessidades de sensores e atuadores no controlo dos mesmos apresenta uma avaliação moderadamente alta.

A dimensão 1.5 apresenta o valor mais baixo da operação digital (1.n) dado que as capacidades de integração de dados entre sistemas e plataformas é baixo. A incapacidade de integrabilidade dada a multiplicidade de protocolos constitui-se como um dos constrangimentos da organização na sua transformação digital. Visto que o âmbito da produção e operações é o que apresenta maior variedade de protocolos e amplitude histórica carece de uma consideração prioritária para a digitalização organizacional.

Dada a complexidade das tarefas de manutenção e instalação de equipamentos, várias são as interfaces dedicadas à interpretação e manipulação de ativos e informação. Contudo, na dimensão avaliativa 1.2 - processos locais interpretáveis e ajustáveis pelo operador, a avaliação é classificada como restrita. Esta avaliação reduzida é oriunda

principalmente da não existência de dispositivos de imersão e integrabilidade físico-digital como óculos de realidade mista. A organização dispõe da informação técnica totalmente virtualizada, esquematizada com figuras descritivas e indicativas das tarefas e modos de operação cuja integração suportaria não só os técnicos no terreno como os clientes num primeiro diagnóstico. Paralelamente, a necessidade de documentar as configurações físicas dos equipamentos, beneficiaria a precisão e quantidade de informação necessária para este fim.

No que respeita à dimensão 1.6, nos diversos âmbitos de avaliação, a sua análise não foi considerada dado que esta dimensão está relacionada com a gestão dos ativos ao nível do seu funcionamento e estados que tem particular interesse para o âmbito de produção e operações na gestão dos equipamentos em manutenção e instalação.

A incapacidade de integrar dados provenientes de sensores e atuadores nos sistemas de informação mitiga as capacidades de gerir o ciclo de vida dos equipamentos. Por sua vez, esta carência de dados inviabiliza a utilização de algoritmos de análise e determinação de padrões. Subjacente a esta condição está a inexistência de ferramentas de integração de dados já que o número de equipamentos conectados é moderado.

Ao nível da gestão digital, o âmbito de produção e operações apresenta a maior pontuação relativa à integrabilidade entre sistemas de informação e ferramentas utilizadas nos diversos diagnósticos e necessidades de planeamento. Paralelamente, existe uma consciencialização da organização neste âmbito das necessidades digitais ao nível cultural, tanto no tratamento da informação como na criação de conhecimento digital. Para as dimensões 2.5 e 2.6, controlo automático dos processos desde sistemas e comportamento organizacional interpretável respetivamente, a pontuação é nula. A incapacidade de integrar dados em sistemas de informação e a não existência de dados que descrevam estados de funcionamento não permite a utilização de ferramentas de análise e recomendação.

A independência e autonomia dos técnicos conduziu a organização à construção de sistemas de transparência e visibilidade das avarias existentes, formas de resolução ou recomendações de instalação mensuradas nas dimensões 2.1 e 2.2. Contudo, dada a complexidade das tarefas, as diversas subsidiárias apresentam formas e abordagens distintas de resolução do mesmo problema. O recurso a plataformas *cloud*, de partilha destes dados suportaria os técnicos nas suas operações e validaria os métodos mais adequados à resolução de problemas.

### 7.3.4. O Âmbito da Qualidade

O âmbito da qualidade do elemento de análise, apresenta um comportamento decrescente na direção operação -> ecossistema digital tal como a curva de tendência do gráfico 4 demonstra. Esta tendência ocorre para todos os âmbitos avaliativos dado o comportamento do gráfico 2.

Ao nível da operação digital, a qualidade apresenta um comportamento que segue o padrão da produção e operações assumindo uma postura mais extremada no que concerne às oscilações. A dimensão avaliativa 1.1 e 1.3 apresentam as maiores pontuações dado que o decorrer das tarefas é essencialmente levado a cabo através de sistemas computacionais. É de referir a não aplicabilidade de 4 questões da dimensão 1.1 direcionados para o controlo dos ativos (computadores) através de atuadores. Ao nível da dimensão 1.2, 2 das variáveis de avaliação não são aplicáveis dado o tipo de processos organizacionais. Contudo, 3 questões foram aplicadas da dimensão 1.2, revelando a inexistência de práticas digitais de controlo dos processos ou da aplicabilidade de novos componentes na resolução de problemas nos equipamentos.

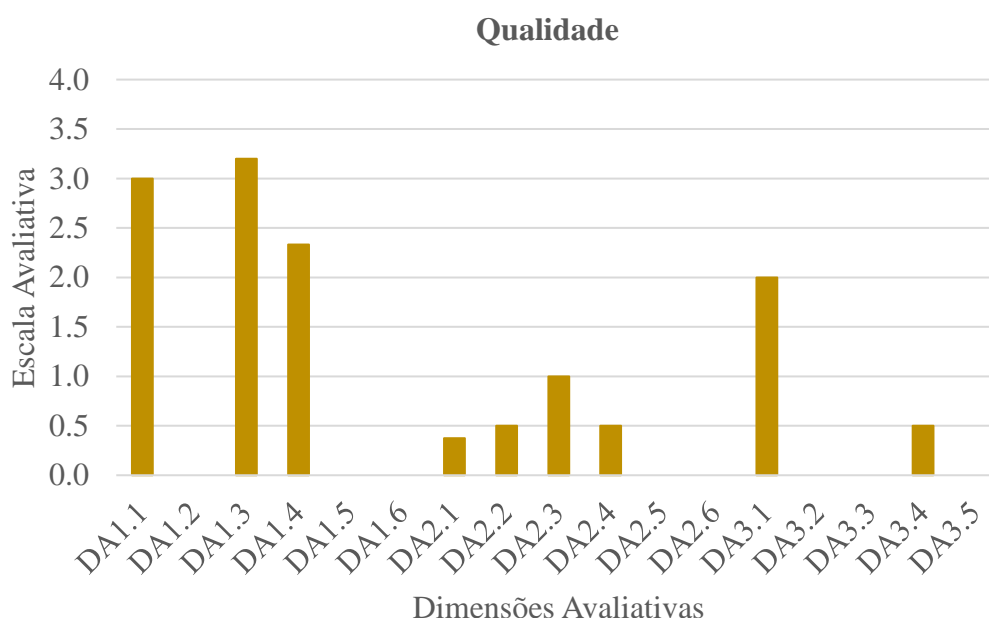


Gráfico 4 – Avaliações por dimensão Avaliativa do âmbito da Qualidade.

No que concerne à dimensão 1.5, à exceção do âmbito de produção e operação, todos os demais âmbitos apresentam avaliação nula dada a inexistência de

interoperabilidade entre sistemas. Paralelamente, a dimensão 1.6 apresenta valores nulos tanto no âmbito da qualidade como nos demais dado que os equipamentos e peças não estão conectadas aos sistemas de informação não permitindo qualquer controlo do estado de funcionamento ou localização.

Ao nível da gestão digital das operações no âmbito da qualidade apresenta um valor médio classificado como restrito dada a sua aplicabilidade reduzida. Somente a dimensão 2.3, gestor digital autónomo no controlo dos processos, apresenta uma classificação de 1, sendo a classificação mais baixa em todos os âmbitos para esta dimensão avaliativa em particular. A discrepância face aos demais âmbitos deve-se principalmente pela incapacidade de as decisões de qualidade não serem tomadas o mais próximo possível do seu ponto de necessidade e do baixo nível de reconhecimento que as pessoas devem ser as gestoras dos seus próprios processos. Esta incompatibilidade cultural com as necessidades das organizações digitais constitui-se como um constrangimento à implementação e adoção de procedimentos e ferramentas digitais.

Ao nível do ecossistema digital, a qualidade apresenta o mesmo comportamento avaliativo da produção e operações tendo subjacente as mesmas limitações e necessidades.

### **7.3.5. O Âmbito da Logística**

O âmbito da logística apresenta um comportamento semelhante ao apresentado pela qualidade tendo subjacente as mesmas considerações. Os departamentos de qualidade e logística são constituídos pelas mesmas pessoas, apresentando os mesmos padrões culturais e comportamentais. No entanto, parte das tarefas logísticas são realizadas pelos técnicos de produção e operações. É devido a este fator que a dimensão 2.3 é superior no âmbito da logística face ao da qualidade, dado que os técnicos apresentam um nível de consciencialização totalmente adequado para o que são as necessidades digitais.

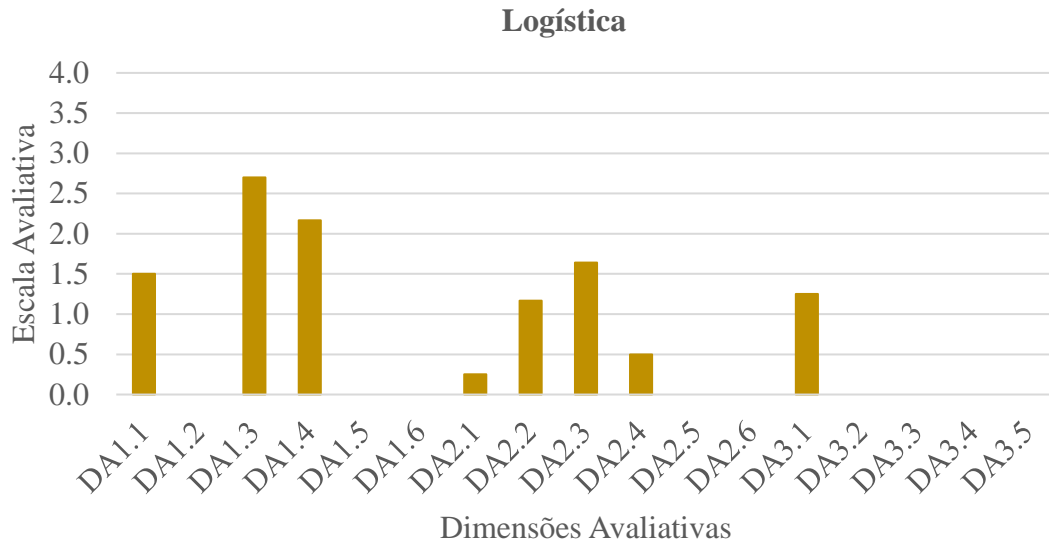


Gráfico 5 - Avaliações por dimensão Avaliativa do âmbito da Logística.

### 7.3.6. O Âmbito da Manutenção

Ao nível das tarefas de manutenção realizadas na organização, estas dizem respeito à manutenção dos ativos computacionais nos quais as tarefas são maioritariamente realizadas e às necessidades de atualização e suporte ao software. Estas tarefas são desempenhas por uma equipa técnica de informática cuja consciencialização das necessidades de sistemas e realidades digitais é elevada existindo uma cultura digital.

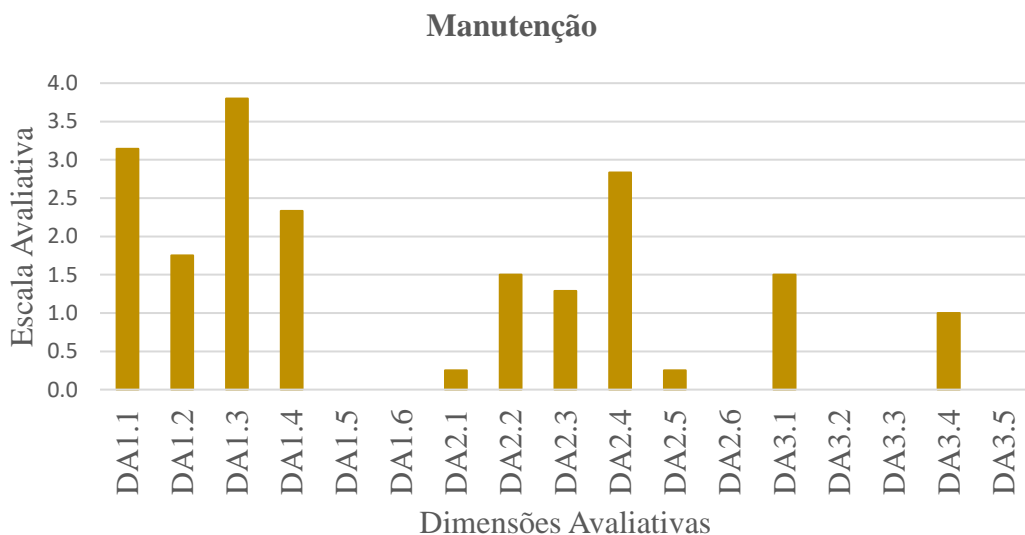


Gráfico 6 - Avaliações por dimensão avaliativa do âmbito da Manutenção.

As limitações apuradas no âmbito da Manutenção seguem as limitações apresentadas anteriormente. É de realçar a dimensão 2.4, colaboração de ativos na realização de tarefas, dado que é a mais elevada face aos demais âmbitos. Este facto devesse às condições implícitas de interoperabilidade digital entre os dispositivos utilizados por a equipa de informática e pela sua posição cultural.

### 7.3.7. O Âmbito das Vendas e Marketing

O âmbito das vendas e do Marketing apresenta um comportamento em tudo semelhante ao que fora descrito para os âmbitos anteriores.

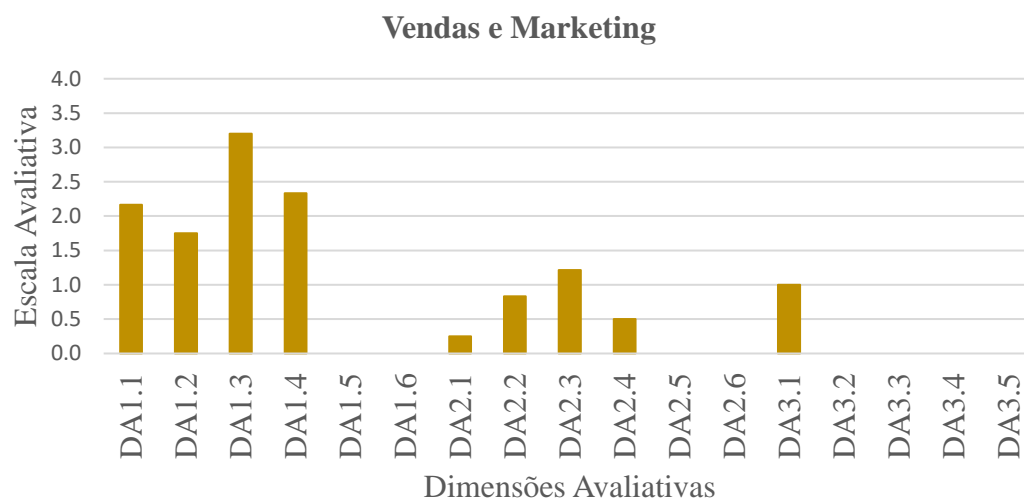


Gráfico 7 - Avaliações por dimensão avaliativa do âmbito de Vendas e Marketing.

## **8. Conclusões**

A capacidade de analisar a forma como a estrutura digital está construída faz com que o modelo assuma uma postura imparcial e totalmente afastada das necessidades e particularidades de cada área operacional em avaliação

### **8.1. Conclusões do caso de estudo**

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de responder às questões centrais que estão na sua origem:

- 1 - Qual o nível de digitalização organizacional ao nível da gestão das operações?
- 2 - Qual o nível de digitalização operacional nas diferentes áreas organizacionais?
- 3 - Quais as limitações e constrangimentos da gestão digital das operações?

No que respeita à pergunta 1, o valor da Digitalização Global para o caso de estudo é de 1,25. O modelo apresentou competências na capacidade de avaliar o elemento de análise como um todo através da avaliação particular a cada âmbito da organização. Contudo é de referir que avaliação do nível de digitalização global do elemento de análise requer da necessidade premente de compreender os fluxos de informação entre os departamentos e entre a organização e os diferentes intervenientes das cadeias de valor (esta condicionante é apontada como sugestão de trabalhos futuros).

A avaliação dos níveis de digitalização de cada área organizacional, pergunta 2, foi conseguida pelo modelo através da sua abordagem abstrata e global, que permitiu que o mesmo explore-se o elemento em análise, nos seus diferentes departamento e plataformas de informação sem apresentar limitações que o incompatibilizasse com uma avaliação transparente e precisa. Os valores particulares de cada âmbito do elemento em análise são apresentados no gráfico 1.

Relativamente à pergunta 3, o modelo permitiu a identificação de constrangimentos à gestão digital das operações. O constrangimento 1, é relacionado à incapacidade da organização em transpor dados de forma sistemática entre as distintas plataformas de trabalho dos diversos departamentos. A incapacidade de integrar sistemas inviabiliza a sistematização das tarefas diárias, tal como os outputs e inputs de informação sendo as disrupções de informação um evento recorrente. Ao nível mais local, no âmbito

da produção e operações evidenciou-se a utilização mais massiva de sistemas, mas, a incapacidade de tornar interoperável diversos protocolos, limita a quantidade e qualidade da informação gerada no que se refere aos resultados das atividades diárias tal como na sustentação do conhecimento gerado. O constrangimento 2 é originado pelo constrangimento 1. A incapacidade de integração protocolar entre sistemas, tanto internos como externos, inviabiliza uma operação em tempo real. Deste modo, a visibilidade de sistemas não retrata a realidade organizacional no presente imediato.

No que se refere às condições de visibilidade, dado que os canais de informação sistematizados são locais, a visibilidade do funcionamento organizacional é também ela limitada a cada área em particular.

O modelo permitiu evidenciar a existência de padrões digitais por os diversos âmbitos de avaliação. Este comportamento advém do fato de a organização ser de pequena dimensão e de não existirem diretrizes dedicadas a cada âmbito. As soluções digitais e o que é valor para a organização encontradas para um âmbito foram extrapoladas aos demais. Esta consideração é de extrema limitação já que cada âmbito carece de necessidades especiais.

## **8.2. Conclusões do trabalho**

Evidenciou-se a capacidade do modelo em identificar constrangimentos locais que podem comprometer ou que são de algum modo relevantes para os objetivos globais de funcionamento e implementação de sistemas digitais. A capacidade de identificar constrangimentos deve-se grandemente à progressividade da avaliação, que se dedica primeiramente à avaliação da integração vertical (operação digital), seguidamente à integração horizontal (gestão digital das operações) e, em última instância, à avaliação do ecossistema digital avaliando as interações com elementos externos e compreensão digital do ciclo de vida dos produtos e serviços. Paralelamente, a envolvência de pessoas de diversas áreas da organização num determinado âmbito permite mapear problemas e as causas que lhe estão associadas.

O modelo desenvolvido foi capaz de avaliar condições culturais e do posicionamento das pessoas para as necessidades dos sistemas digitais da I4.0. É a cultura organizacional aplicada pelas pessoas que pautam de forma central a performance e comportamento das organizações. A capacidade de identificar condições e necessidades

digitais da cultura é central, pois as suas alterações requerem investimentos de tempo importantes, de uma interpretação e aceitação por parte das pessoas. Deste modo, a capacidade de evidenciar estas necessidades é uma mais valia do modelo no suporte à implementação e preparação para a adoção de sistemas digitais, antecipando e moldando o quadro de necessidades neste capítulo tão importante que é a cultura.

No que se refere aos ativos, o modelo coloca-os no centro da avaliação. Deste modo, o modelo tem a competência de mapear as áreas organizacionais em que uma gestão dos ativos deve ser mais ou menos digital.

A identificação de limitações e constrangimentos locais proporcionadas pelo modelo, permite determinar condições particulares de implementação de tecnologias inseridas no contexto da I4.0.

A capacidade de envolver pessoas de diversos departamentos na resposta de um âmbito em particular, permite ter avaliações mais concretas e precisas da realidade local e da forma como condições num determinado ponto da organização pode influenciar um outro distante e pertencente a um outro âmbito avaliativo. Pessoas de um determinado departamento evidenciam as necessidades e condições que limitam as condições de operação digital em função de condições de outras áreas organizacionais. Caso as avaliações fossem respondidas por pessoas dos departamentos que constituem a maioria de um determinado âmbito, a avaliação seria restrita às necessidades desses departamentos, não considerando as necessidades dos demais. Este sistema orgânico de avaliação contribuiu para assegurar o dinamismo e globalidade da avaliação.

Ao nível da aplicabilidade do modelo, concluiu-se que apresenta uma abordagem flexível, permitindo avaliar dados macro e micro digitais, distribuídos em diversas direções de avaliação, dimensões avaliativas e âmbitos funcionais do elemento de análise.

### **8.3. Limitações do modelo**

Como limitações identificadas no decorrer da aplicação do presente trabalho, está a limitação de avaliar de forma adequada as áreas e departamentos organizacionais de suporte como os recursos humanos e áreas financeiras. O modelo não contempla por exemplo formas digitais de treino através de sistemas imersivo.

No que se refere ao inquérito de avaliação, o facto de um número importante de variáveis avaliativas não terem aplicabilidade limitam a capacidade de recolher evidências factuais e suportar uma avaliação coerente.

#### **8.4. Recomendações de trabalhos futuros**

Dada a abordagem de construção do presente modelo avaliativo, direcionada para as pessoas, ativos e informação, terá todo interesse em testar a sua aplicação em organizações do setor secundário, da transformação no qual máquinas, produtos, infraestruturas são os objetos centrais a gerir no contexto digital. A aplicação do modelo a uma organização desta natureza evidenciará necessidades de ajuste e novas considerações para assegurar a fiabilidade da avaliação.

Necessidades de estudo de integração de tecnologias de inteligência artificial, previsão e prescrição, dado que a sua aplicabilidade é uma realidade no contexto industrial presente. Objetiva-se com esta recomendação que o modelo não seja excluído de ser aplicado dadas as limitações avaliativas da abrangência tecnológica.

A construção do presente trabalho tem por base a interoperabilidade conjunta das arquiteturas RAMI4.0 e IIRA. Estes modelos continuam em constante evolução. É de interesse analisar de que forma a evolução relacional de ambos afeta as capacidades avaliativas consideradas para a avaliação.

A inexistência de uma clara definição dos CPS que é por si só um dos objetivos centrais da I4.0 (a construção de uma organização físico cibernética é central à SF), carece de um estudo profundo e totalmente esclarecedor, interpretando as condições que lhe estão subjacentes para o dimensionamento de sistemas digitais baseados na I4.0.

A avaliação global da organização pressupõe a necessidade de avaliar primeiramente cada âmbito da mesma. Contudo, as organizações como organismos complexos, compostos por departamentos funcionais que trabalham de forma interdependente, requer de uma compreensão exaustiva da forma como estes se relacionam ao nível dos fluxos de informação. É de referir que a informação é um meio e um fim da I4.0. Neste seguimento, a necessidade de mapear os fluxos de informação, compreendendo quem ou que departamento está dependente de certa informação, formas como devem ser integradas em sistemas, taxas de atualização, há toda uma necessidade de compreender a organização nesta rede “neurológica” digital. Construir um método que permita estruturar

as interações desta rede informacional, pontos de integração da informação em sistemas é de todo o interesse para uma interpretação mais profunda e transparente da realidade digital de uma organização.

## 9. Revisão Bibliográfica

1. Jian Qin, Ying Liu, Roger Grosvenor, A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond, *Procedia CIRP* 52 pp. 173 – 178, (2016)
2. Daniel Schulte, Armando W. Colombo, RAMI 4.0 based digitalization of an industrial plate extruder system: Technical and infrastructural challenges, *IECON - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, (2017)
3. A. Lüder Member, IEEE, M. Schleipen, N. Schmidt, J. Pfrommer, R. Henßen, One step towards an Industry 4.0 component, *13th IEEE Conference*, (2017)
4. Hugo Karre, Markus Hammer, Mario Kleindienst, Christian Ramsauer, Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology, *7th Conference on Learning Factories, CLF*, 206 – 213, (2017)
5. Yang Lu, Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues, *Jornal of Industrial Information Integration*, pp. 1-10, (2017)
6. Heiner Lasi, Hans-Georg Kemper, Peter Fettke et. al., *Industry 4.0, Business & Information Systems Engineering* 4, (2014)
7. Thuy Duong Oesterreich, Frank Teuteberg, Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry, *Computers in Industry* 83, pp. 121–139, (2016)
8. Yübo Wang, Thilo Towara, and Reiner Anderl, Topological Approach for Mapping, *Technologies in Reference Architectural Model Industry 4.0 (RAMI4.0)*, *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science Vol II*, pp. 25-27, (2017)
9. Selim Erola, Andreas Jägera, Philipp Holda, Karl Otta, Wilfried Sihna, Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production, *Procedia CIRP* 54, pp. 13 – 18, (2016)
10. Eva Bogner, Thomas Voelklein, Olaf Schroedel, Joerg Franke, Study Based Analysis on the Current Digitalization Degree in the Manufacturing Industry in Germany *49th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP-CMS)*, pp. 14-19, (2016)
11. Andreas Schumacher, Selim Erol, Wilfried Sihn, A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises, *Procedia CIRP* 52, pp. 161 – 166, (2016)

12. Mohsen Moghaddam, Marissa N. Cadavid, C. Robert Kenley, Abhijit V. Deshmukh, Reference architectures for smart manufacturing: A critical review, *Journal of Manufacturing Systems* 49, pp. 215–225, (2018)
13. Alejandro German Frank, Lucas Santos Dalenogare, Nestor Fabian Ayala, Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies, *International Journal of Production Economics* 210, pp. 15-26, (2019)
14. Malte Brettel, Niklas Friederichsen, Michael Keller et al., How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective, World Academy of Science, Engineering and Technology *International Journal of Information and Communication Engineering*, Vol:8, No:1, (2014)
15. Hugh Boyes, Bil Hallaq, Joe Cunningham, Tim Watson, The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework, *Computers in Industry* 101, pp.1–12, (2018)
16. H. Ahuett-Garza, T. Kurfess, A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing, *Manufacturing Letters* 15 pp. 60–63, (2018)
17. Yongkui Liu, Xun Xu, Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 139, (2017)
18. Peter Adolphs, Heinz Bedenbender, Dagmar Dirzus et al., Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0), VDI/VDE-Gesellschaft Mess – und Automatisierungstechnik, (2015)
19. Deloitte AG, Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies, disponível em: [www.deloitte.com](http://www.deloitte.com), (2015)
20. Keliang Zhou, Taigang Liu e Lifeng Zhou, Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges, *International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, (2015)
21. Angappa Gunasekaran, EricW.T.Ngai, The future of operations management: An outlook and analysis, *Int. J. Production Economics* 135, pp. 687–701, (2012)
22. Zezulka, P. Marcon, I. Vesely, O. Sajdl, Industry 4.0 – An Introduction in the phenomenon, *IFAC-PapersOnLine* 49-25, pp. 008–012, (2016)
23. G. Pedone e I. Mezgár, Model similarity evidence and interoperability affinity in cloud-ready Industry 4.0 technologies, *Computers in Industry* 100, pp. 278–286, (2018)

24. Madhusudan Pai, Interoperability between IIC Architecture & Industry 4.0 Reference Architecture for Industrial Assets, Infosys Limited, (2017)
25. Pérez D., Alarcón F., Boza A., Industry 4.0: A classification scheme, International Joint Conference - CIO-ICIEOM-IIE-AIM (IJC), pp. 13-15, (2016)
26. V. Alcácer e V. Cruz Machado, Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing systems, Engineering Science and Technology, an International Journal, Volume 22, (2019)
27. Marcos A. Pischinga, Marcosiris A.O. Pessoa, Fabrício Junqueira, et al., An architecture based on RAMI 4.0 to discover equipment to process operations required by products, Computers & Industrial Engineering 125, pp. 574–591, (2018)
28. Marcos A. Pischinga, Marcosiris A.O. Pessoa, Fabrício Junqueira, et al., An architecture based on RAMI 4.0 to discover equipment to process operations required by products, Computers & Industrial Engineering 125, pp. 574–591, (2018)
29. M. Faheem, S.B.H. Shah, R.A. Butt, et al., Smart grid communication and information technologies in the perspective of Industry 4.0: Opportunities and challenges, Computer Science Review 30, pp. 1–30, (2018)
30. YongruiQin, QuanZ.Sheng, NickolasJ.G.Falkner, SchahramDustdar, HuaWang, AthanasiosV.Vasilakos, When things matter: A survey on data-centric internet of things, Journal of Network and Computer Applications 64, pp. 137-153, (2016)
31. P.P. Ray, A survey on Internet of Things architectures, Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences 30, pp. 291–319, (2018)
32. Vasja Roblek, Maja Meško, and Alojz Krapež, A Complex View of Industry 4.0, April-June, pp. 1-11, (2016))
33. Partha Pratim Ray, A survey of IoT cloud platforms, Future Computing and Informatics Journal 1 pp. 35-46, (2016)
34. Federico Civerchia, Stefano Bocchino, Claudio Salvadori, Enrico Rossi, Luca Maggiani, Matteo Petracca, Industrial Internet of Things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications, Journal of Industrial Information Integration 7, pp. 4–12, (2017)
35. Cloud, Fog and Edge Computing – What’s the difference?, Winsystems, disponível em: [www.winsystems.com](http://www.winsystems.com), consultado a 06/07/2019

36. Qing Lia, Qianlin Tanga, Iotong Chana et al., Smart manufacturing standardization: Architectures, reference models and standards framework, *Computers in Industry* 101, pp. 91–106, (2018)
37. Ben van Lier, *Autonomous and Collaborating Cyber-Physical Systems*, 22nd International Conference on System Theory, Control and Computing, (2018)
38. G. Ante, F. Facchini, et al., Developing a key performance indicators tree for lean and smart production systems, *IFAC PapersOnLine* 51-11, pp. 13–18, (2018)
39. Günther Schuh, Reiner Anderl, Jürgen Gausemeier, Michael ten Hompel, Wolfgang Wahlster, *Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies*, (2017)
40. Shi-Wan Lin, Bradford Miller, Jacques Durand et al., *The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture*, Industrial Internet Consortium, (2017)
41. Sergey Efremov, Nikolay Pilipenko, Leonid Voskov, An Integrated Approach to Common Problems in the Internet of Things, *Procedia Engineering* 100 (2015) 1215 – 1223
42. Marina Crnjac, Ivica Veža, Nikola Banduka, From Concept to the Introduction of Industry 4.0, *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, Vol. 8 No 1, pp. 21-30, (2017)



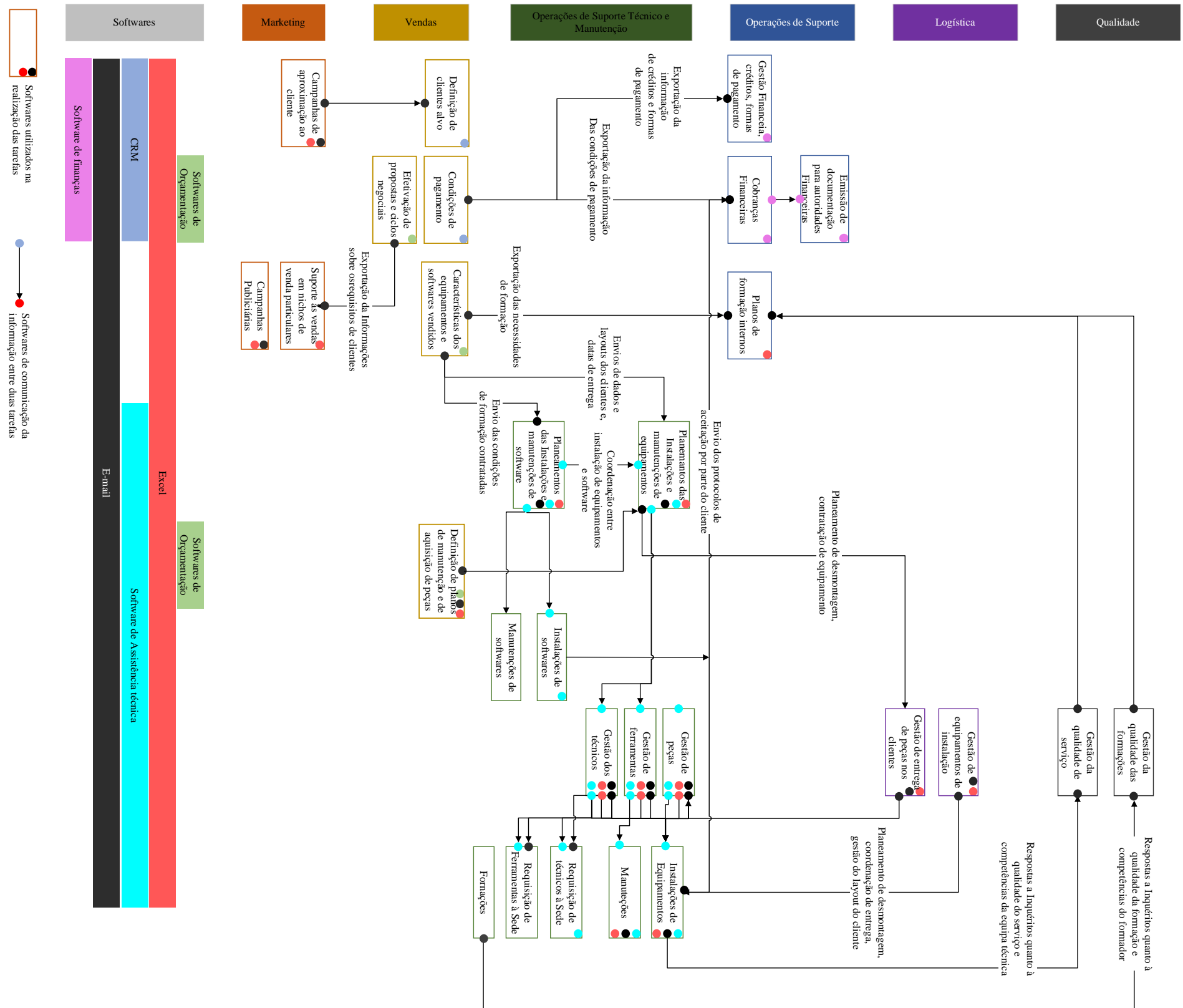
## 2. Variáveis Avaliativas

	Variável Avaliativas	Dimensões Avaliativas	Descrição
Operação Digital	1	DA1.1	Nível de conhecimento na configuração e resolução de problemas simples de comunicação e gestão de dados
	2	DA1.1	Nível de conhecimento adequado às necessidades de segurança, partilha e manipulação de dados
	3	DA1.1	Nível de sensores que permitem quantificar parâmetros de estados de configuração, performance, anomalias dos ativos
	4	DA1.1	Nível de tráfego de dados, latência e largura de banda permitem uma conectividade em tempo real de forma fluída
	5	DA1.1	Nível de atuadores que permitem configurar e controlar os ativos
	6	DA1.1	Nível de atuadores que permitem configurar e controlar parâmetros e desvios de processos
	7	DA1.1	Nível de Interfaces para o Humano para o controlo e monitorização de ativos em tempo real
	8	DA1.2	Nível de sensores que permitem quantificar parâmetros e desvios de processos
	9	DA1.2	Nível de Interfaces para o Humano de monitorização e análise dos processos em tempo real
	10	DA1.2	Nível de existência de interfaces móveis com a capacidade de acessibilidade remota aos ativos em qualquer localização da organização para a sua configuração, ajuste e operação
	11	DA1.2	Nível de utilização de tecnologias de realidade aumentada, mista e virtual para controlo de processos, ativos e suporte a tarefas
	12	DA1.2	Nível da informação projetada nos sistemas imersivos suficiente à realização de tarefas
	13	DA1.3	Nível de ativos que permitem a visibilidade de objectivos departamentais, planeamento e gestão local definida nos sistemas de informação
	14	DA1.3	Nível de sensores e atuadores integrados nos ativos
	15	DA1.3	Nível de activos que possuem uma identidade única, com os seus dados e meta dados estruturados localmente
	16	DA1.3	Nível de ativos de controlo e gestão conectados por tecnologias Wireless e Internet
	17	DA1.3	Nível de automatização dos ativos na realização das suas tarefas
	18	DA1.4	Nível de capacidades computacionais dos ativos adequadas ao processamento do volume de dados
	19	DA1.4	Nível de activos que fornecem recomendações de operação, formas de uso e consumos de energia.
	20	DA1.4	Nível de ativos com capacidades de se monitorizarem, verem o seu estado de funcionamento, preservação e performance automaticamente
	21	DA1.5	Nível de integração, preparação e propagação da informação nos sistemas de informação
	22	DA1.6	Nível de ativos conetados que permitem o controlo do estado de funcionamento, performance e gestão de processos
	23	DA1.6	Capacidade de controlo da configuração e estado de funcionamento dos ativos a partir de sistemas de informação
	24	DA1.6	Nível de representatividade do estado, performance e funcionamento dos ativos nos sistemas de informação
	25	DA1.6	Capacidade de integrar os dados provenientes de sensores, dispositivos de controlo e ativos nos sistemas de informação
Gestão Digital	26	DA2.1	Nível de integração da informação entre sistemas de informação e softwares específicos e departamentais - transposição automática de informação
	27	DA2.1	Nível de representatividade do estado de operação, progresso e performance dos processos a controlar nos sistemas de informação
	28	DA2.1	Nível de representatividade do histórico de funcionamento de ativos, modos de uso, anomalias e performance nos sistemas de informação
	29	DA2.1	Nível de utilização de serviços <i>cloud</i> de Plataformas (PaaS) e Infraestruturas (IaaS)
	30	DA2.2	Nível de consciência cultural do quão a importante a informação local é para as demais áreas organizacionais
	31	DA2.2	Nível de importância conferida pela cultura organizacional na introdução e declaração de informação como conhecimento nos sistemas de informação
	32	DA2.2	Nível de utilização de tecnologias de rastreabilidade e localização de ativos na organização
	33	DA2.3	Nível de ferramentas de simulação do estado de funcionamento dos ativos, relação entre configurações e performances e, longevidade e necessidades de manutenção
	34	DA2.3	Nível de ferramentas de simulação de processos, seus constrangimentos, <i>outputs</i> e performance
	35	DA2.3	Nível de ativos com capacidades de análises automáticas de monitorização do estado de funcionamento e performance e, sugestões de optimização
	36	DA2.3	Nível de tomada de decisões o mais próximo possível do local da sua necessidade
	37	DA2.3	Nível de descentralização da informação através de sistemas de informação e acesso á realidade organizacional em qualquer ponto de necessidade
	38	DA2.3	Nível de reconhecimento cultural que cada pessoa deve ser gestora dos processos diretos em que está envolvida
	39	DA2.4	Nível de consideração de necessidades departamentais e do ecossistema na construção de melhorias e alterações digitais locais

### 3. Variáveis Avaliativas

	Variável Avaliativas	Dimensões Avaliativas	Descrição
Operação Digital	40	DA2.4	Capacidades ou serviços de integração de protocolos de ativos de diversas gerações para uma troca horizontal de informação
	41	DA2.4	Nível de integrabilidade digital entre ativos permitindo uma troca de comunicação entre os mesmos, em tempo real
	42	DA2.5	Nível de utilização de ferramentas de recomendação de utilização, formas de configuração de ativos
	43	DA2.5	Nível de ferramentas de análise da performance de processos e das interações entre ativos
	44	DA2.6	Nível de utilização de ferramentas e algoritmos de relacionamento de causas, efeitos e consequências de eventos
	45	DA2.6	Nível de integração da informação dos diversos ativos nos algoritmos de análise comportamental de determinação de padrões e tendências de operação
	46	DA2.6	Nível de integração de informação dos diversos departamentos nos algoritmos de análise comportamental de determinação de padrões e tendências de operação
Ecossistema Digital	47	DA3.1	Nível de utilização de serviços <i>cloud</i> de Softwares (SaaS)
	48	DA3.1	Nível cultural de reconhecimento da importância de partilha de dados entre os diversos elementos das cadeias de valor
	49	DA3.2	Capacidades ou serviços <i>cloud</i> de localização dos ativos em qualquer instante
	50	DA3.2	Capacidade e serviços de internet que permitem aos ativos, serem identificados e descritos quanto às suas capacidades e necessidades de conectividade e, informação partilhável que possuem
	51	DA3.2	Nível de serviços <i>cloud</i> de emparelhamento automático de ativos
	52	DA3.3	Nível de serviços <i>cloud</i> de gestão e controlo remoto dos ativos em qualquer localização da cadeia de valor em qualquer instante
	53	DA3.3	Nível de serviços de integração de protocolos entre sistemas e serviços de informação dos parceiros e clientes das cadeias de valor
	54	DA3.4	Nível de recolha de informação das formas de uso, falhas, necessidades e configuração dos ativos e produtos
	55	DA3.4	Nível de serviços <i>cloud</i> de customização de produtos e serviços para clientes e para os demais elementos das cadeias de valor
	56	DA3.5	Nível de utilização de tecnologias de realidade aumentada para rápida experimentação de produtos e serviços e, intensificar a relação com a organização e marca

#### 4. Relações entre as operações do Elemento de Análise



## 5. Inquérito Avaliativo

	Variáveis Avaliativas	Dimensões Avaliativas	Descrição	P e D	Pro e O	Q	L	M	V e Mar
Operação Digital	1	DA1.1	Nível de conhecimento na configuração e resolução de problemas simples de comunicação e gestão de dados	N/A	2,5	2,5	1,5	3,5	1,5
	2	DA1.1	Nível de conhecimento adequado às necessidades de segurança, partilha e manipulação de dados	N/A	3,5	4	2	3,5	2,5
	3	DA1.1	Nível de sensores que permitem quantificar parâmetros de estados de configuração, performance, anomalias dos ativos	N/A	0,5	N/A	0	3	N/A
	4	DA1.1	Nível de tráfego de dados, latência e largura de banda permitem uma conectividade em tempo real de forma fluída	N/A	2	2,5	2,5	2,5	2,5
	5	DA1.1	Nível de atuadores que permitem configurar e controlar os ativos	N/A	0,5	N/A	N/A	3	N/A
	6	DA1.1	Nível de atuadores que permitem configurar e controlar parâmetros e desvios de processos	N/A	2	N/A	N/A	3,5	N/A
	7	DA1.1	Nível de Interfaces para o Humano para o controlo e monitorização de ativos em tempo real	N/A	2,5	N/A	N/A	3	N/A
	8	DA1.2	Nível de sensores que permitem quantificar parâmetros e desvios de processos	N/A	1,5	0	0	0	0
	9	DA1.2	Nível de Interfaces para o Humano de monitorização e análise dos processos em tempo real	N/A	2	N/A	N/A	3	3
	10	DA1.2	Nível de existência de interfaces móveis com a capacidade de acessibilidade remota aos ativos em qualquer localização da organização para a sua configuração, ajuste e operação	N/A	2	N/A	N/A	4	N/A
	11	DA1.2	Nível de utilização de tecnologias de realidade aumentada, mista e virtual para controlo de processos, ativos e suporte a tarefas	N/A	0	0	0	0	0,5
	12	DA1.2	Nível da informação projetada nos sistemas imersivos suficiente à realização de tarefas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,5
	13	DA1.3	Nível de ativos que permitem a visibilidade de objetivos departamentais, planeamento e gestão local definida nos sistemas de informação	N/A	3,5	4	3,5	4	4
	14	DA1.3	Nível de sensores e atuadores integrados nos ativos	N/A	4	4	3	4	4
	15	DA1.3	Nível de ativos que possuem uma identidade única, com os seus dados e meta dados estruturados localmente	N/A	2,5	4	3,5	4	4
	16	DA1.3	Nível de ativos de controlo e gestão conectados por tecnologias Wireless e Internet	N/A	3	4	3,5	4	4
	17	DA1.3	Nível de automatização dos ativos na realização das suas tarefas	N/A	1	0	0	3	0
	18	DA1.4	Nível de capacidades computacionais dos ativos adequadas ao processamento do volume de dados	N/A	2	4	4	4	4
	19	DA1.4	Nível de átics que fornecem recomendações de operação, formas de uso e consumos de energia.	N/A	0,5	0,5	0	0,5	0,5
	20	DA1.4	Nível de ativos com capacidades de se monitorizarem , verem o seu estado de funcionamento, preservação e performance automaticamente	N/A	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	21	DA1.5	Nível de integração, preparação e propagação da informação nos sistemas de informação	N/A	0,5	0	0	0	0
	22	DA1.6	Nível de ativos conectados que permitem o controlo do estado de funcionamento, performance e gestão de processos	N/A	0,5	0	0	0	0
	23	DA1.6	Capacidade de controlo da configuração e estado de funcionamento dos ativos a partir de sistemas de informação	N/A	1	N/A	N/A	N/A	N/A
	24	DA1.6	Nível de representatividade do estado, performance e funcionamento dos ativos nos sistemas de informação	N/A	1	N/A	N/A	N/A	N/A
	25	DA1.6	Capacidade de integrar os dados provenientes de sensores, dispositivos de controlo e ativos nos sistemas de informação	N/A	0,5	N/A	N/A	N/A	N/A
Gestão Digital das operações	26	DA2.1	Nível de integração da informação entre sistemas de informação e softwares específicos e departamentais - transposição automática de informação	N/A	2	0,5	0	0	0
	27	DA2.1	Nível de representatividade do estado de operação, progresso e performance dos processos a controlar nos sistemas de informação	N/A	2,5	0,5	0	0	0
	28	DA2.1	Nível de representatividade do histórico de funcionamento de ativos, modos de uso, anomalias e performance nos sistemas de informação	N/A	2	0,5	0,5	0,5	0,5
	29	DA2.1	Nível de utilização de serviços <i>cloud</i> de Plataformas (PaaS) e Infraestruturas (IaaS)	N/A	1	0	0,5	0,5	0,5
	30	DA2.2	Nível de consciência cultural do quão a importante a informação local é para as demais áreas organizacionais	N/A	2,5	0,5	2,5	3,5	1

## 6. Inquérito Avaliativo

	Variáveis Avaliativas	Dimensões Avaliativas	Descrição	P e D	Pro e O	Q	L	M	V e Mar
Operação Digital	31	DA2.2	Nível de importância conferida pela cultura organizacional na introdução e declaração de informação como conhecimento nos sistemas de informação	N/A	1,5	0,5	1	1	1,5
	32	DA2.2	Nível de utilização de tecnologias de rastreabilidade e localização de ativos na organização	N/A	0	N/A	0	0	0
	33	DA2.3	Nível de ferramentas de simulação do estado de funcionamento dos ativos, relação entre configurações e performances e, longevidade e necessidades de manutenção	N/A	1,5	1	0,5	1	1
	34	DA2.3	Nível de ferramentas de simulação de processos, seus constrangimentos, <i>outputs</i> e performance	N/A	0,5	0	0	0	0
	35	DA2.3	Nível de ativos com capacidades de análises automáticas de monitorização do estado de funcionamento e performance e, sugestões de otimização	N/A	1	0,5	3,5	0,5	0,5
	36	DA2.3	Nível de tomada de decisões o mais próximo possível do local da sua necessidade	N/A	3,5	2	3,5	3,5	3
	37	DA2.3	Nível de descentralização da informação através de sistemas de informação e acesso á realidade organizacional em qualquer ponto de necessidade	N/A	2,5	0,5	0	0	0
	38	DA2.3	Nível de reconhecimento cultural que cada pessoa deve ser gestora dos processos diretos em que está envolvida	N/A	4	2	4	4	4
	39	DA2.4	Nível de consideração de necessidades departamentais e do ecossistema na construção de melhorias e alterações digitais locais	N/A	1,5	0,5	0,5	2	0,5
	40	DA2.4	Capacidades ou serviços de integração de protocolos de ativos de diversas gerações para uma troca horizontal de informação	N/A	2	N/A	N/A	3	N/A
	41	DA2.4	Nível de integrabilidade digital entre ativos permitindo uma troca de comunicação entre os mesmos, em tempo real	N/A	2,5	N/A	N/A	3,5	N/A
	42	DA2.5	Nível de utilização de ferramentas de recomendação de utilização, formas de configuração de ativos	N/A	0	0	0	0	0
	43	DA2.5	Nível de ferramentas de análise da performance de processos e da interações entre ativos	N/A	0	0	0	0,5	0
	44	DA2.6	Nível de utilização de ferramentas e algoritmos de relacionamento de causas, efeitos e consequências de eventos	N/A	0	0	0	0	0
	45	DA2.6	Nível de integração da informação dos diversos ativos nos algoritmos de análise comportamental de determinação de padrões e tendências de operação	N/A	0	0	0	0	0
	46	DA2.6	Nível de integração de informação dos diversos departamentos nos algoritmos de análise comportamental de determinação de padrões e tendências de operação	N/A	0	0	0	0	0
Ecossistema Digital	47	DA3.1	Nível de utilização de serviços <i>cloud</i> de Softwares (SaaS)	N/A	0,5	0	0	1	0,5
	48	DA3.1	Nível cultural de reconhecimento da importância de partilha de dados entre os diversos elementos das cadeias de valor	N/A	2,5	2	2,5	2	1,5
	49	DA3.2	Capacidades ou serviços <i>cloud</i> de localização dos ativos em qualquer instante	N/A	0	0	0	0	0
	50	DA3.2	Capacidade e serviços de internet que permitem aos ativos, serem identificados e descritos quanto às suas capacidades e necessidades de conectividade e, informação partilhável que possuem	N/A	0	0	0	0	0
	51	DA3.2	Nível de serviços <i>cloud</i> de emparelhamento automático de ativos	N/A	0	0	0	0	0
	52	DA3.3	Nível de serviços <i>cloud</i> de gestão e controlo remoto dos ativos em qualquer localização da cadeia de valor em qualquer instante	N/A	0	0	0	0	0
	53	DA3.3	Nível de serviços de integração de protocolos entre sistemas e serviços de informação dos parceiros e clientes das cadeias de valor	N/A	0	0	0	0	0
	54	DA3.4	Nível de recolha de informação das formas de uso, falhas, necessidades e configuração dos ativos e produtos	N/A	1,5	0,5	0	1	0
	55	DA3.4	Nível de serviços <i>cloud</i> de customização de produtos e serviços para clientes e para os demais elementos das cadeias de valor	N/A	0	N/A	N/A	N/A	0
	56	DA3.5	Nível de utilização de tecnologias de realidade aumentada para rápida experimentação de produtos e serviços e, intensificar a relação com a organização e marca	N/A	0	0	0	0	0