

Henrique Abrantes Vitoi

**Arquitetura orientada a serviços baseada no RAMI4.0 para
o compartilhamento da memória digital do produto ao
longo da cadeia de suprimentos**

São Paulo
2021

Henrique Abrantes Vitoi

**Arquitetura orientada a serviços baseada no RAMI4.0 para
o compartilhamento da memória digital do produto ao
longo da cadeia de suprimentos**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração:
Engenharia de Controle e Automação Mecâ-
nica

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Junqueira
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

São Paulo
2021

Ficha catalográfica

Resumo

A mudança de paradigma na indústria referente às recentes modificações em relação às tecnologias de manufatura é chamada de Indústria 4.0 (I4.0). Nesse novo conceito, redes inteligentes de máquinas e processos para indústria com o respaldo de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) passam a proporcionar um alto nível de automação e intercâmbio de informações entre equipamentos, produtos e demais atores em um ambiente de manufatura. Este trabalho aborda uma proposta de desenvolvimento dos detalhes do Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0 (RAMI4.0), especificamente por meio da introdução do conceito de Memória Digital do Produto (MDP) de forma a se aperfeiçoar a elaboração dessa arquitetura, proporcionando mais robustez ao modelo para uma futura adoção generalizada por parte de empresas por todo o mundo. O estudo aborda uma nova estrutura de compartilhamento da MDP do ativo por meio de *Web Services* ao longo da cadeia de suprimentos (CS). Três ativos são analisados: O servidor de informações (produto), o cliente que consome as informações (cada elo da CS) e as descrições dos serviços (contidas no repositório). A proposta de estrutura é tratada com base no RAMI4.0 e visa propiciar o surgimento de novos cenários de criação de valor no contexto da I4.0 e incentivar a geração de novos modelos de negócio baseado em dados.

Palavras-chave: Indústria 4.0. RAMI4.0. Memória digital do produto. Arquitetura orientada a serviços (SOA). Cadeia de suprimentos.

Abstract

The paradigm shift in the industry regarding the recent changes in manufacturing technologies is called Industry 4.0 (I4.0). In this new concept, intelligent networks of machines and processes for industry with the support of Information and Communication Technologies (ICT) start to provide a high level of automation and exchange of information between equipment, products and other actors in a manufacturing environment. This work addresses a proposal to develop the details of the Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI4.0), specifically by introducing the concept of Digital Product Memory in order to improve the elaboration of this architecture, providing more robustness to the model for future widespread adoption by companies worldwide. This study addresses a new structure for sharing the Digital Product Memory throughout the supply chain by means of Web Services. Three assets are analyzed: The information server (product), the client that consumes the information (each partner in the supply chain) and the service descriptions (stored in the repository). The proposed structure is based on the RAMI4.0 and aims to provide means for the emergence of new scenarios for value creation in the context of I4.0 and encourage the creation of new data-driven business models.

Keywords: Industry 4.0. RAMI4.0. Digital product memory. Service-oriented architecture (SOA). Supply chain.

Listas de ilustrações

Figura 1 – As revoluções industriais.	13
Figura 2 – Representação do RAMI4.0.	15
Figura 3 – Temas-chave de pesquisa e desenvolvimento em I4.0.	17
Figura 4 – Metodologia de pesquisa utilizada.	19
Figura 5 – Teorias, ferramentas e aplicações apontadas em diferentes fases do projeto de pesquisa.	20
Figura 6 – Evolução da indústria por meio das revoluções industriais.	22
Figura 7 – Transição do (a) modelo hierárquico tradicional para o (b) modelo flexível de comunicação entre dispositivos na Indústria 4.0.	23
Figura 8 – Avanços tecnológicos que moldam a I4.0.	25
Figura 9 – (a) Representação completa do RAMI4.0 e (b) detalhamento de cada elemento do eixo “Camadas”.	26
Figura 10 – (a) Representação completa do RAMI4.0 e (b) detalhamento do eixo “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor”.	28
Figura 11 – (a) Representação completa do RAMI4.0 e (b) detalhamento do eixo “Níveis Hierárquicos do RAMI4.0”.	29
Figura 12 – Representação do AAS como a parte virtual do Componente I4.0.	30
Figura 13 – Exemplificação de um AAS para um servomotor, incluindo os submodelos de identificação, dados técnicos, dados operacionais e documentação.	31
Figura 14 – Comunicação entre AASs de componentes I4.0.	32
Figura 15 – Detalhamento de funções no AAS por meio de submodelos.	33
Figura 16 – Exemplo de cadeia de suprimentos estendida.	34
Figura 17 – Cadeia de valor de Porter.	34
Figura 18 – Estágios do ciclo de vida do produto.	36
Figura 19 – Modelo de ciclo de vida do produto com renovação do produto.	37
Figura 20 – Coleta de dados do produto ao longo da cadeia de valores.	38
Figura 21 – Interconexão entre os elementos do sistema (a) sem um <i>middleware</i> e (b) com um <i>middleware</i> .	40
Figura 22 – Componentes de um WS e operações.	41
Figura 23 – Diagrama UML com os atores e interações em um WS.	42
Figura 24 – Elementos do PFS.	47
Figura 25 – Tipos de fluxo no PFS.	47
Figura 26 – Componentes e operações do WS.	50
Figura 27 – Diagrama PFS das operações do WS.	52
Figura 28 – Estrutura do AAS com seus submodelos e a MDP.	54

Figura 29 – Exemplificação das operações de publicação e busca com múltiplos clientes.	57
Figura 30 – Exemplificação das operações de publicação e busca com múltiplos produtos.	58
Figura 31 – Camadas do RAMI4.0 com os elementos da arquitetura.	61
Figura 32 – Diagrama PFS da operação de publicação.	62
Figura 33 – Diagrama PFS da requisição em uma operação de busca.	63
Figura 34 – Diagrama PFS da resposta em uma operação de busca.	65
Figura 35 – Diagrama PFS da requisição de um serviço em uma operação de interação. .	66
Figura 36 – Diagrama PFS da resposta de um servidor ao se solicitar um serviço. .	67
Figura 37 – Ciclo de vida do produto.	70

Lista de tabelas

Tabela 1 – Princípios para implantação da I4.0 baseados em Hermann, Pentek e Otto (2016)	22
Tabela 2 – Eixos do RAMI4.0	26
Tabela 3 – Mapeamento dos métodos HTTP em um <i>RESTful Service</i>	45
Tabela 4 – Componentes da arquitetura para a I4.0.	50
Tabela 5 – Operações do WS para a I4.0.	51
Tabela 6 – Metamodelo de dados do repositório.	55

Listas de abreviaturas e siglas

AAS	<i>Asset Administration Shell</i> (Casca Administrativa do Ativo)
API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicação)
BD	Banco de Dados
BI	<i>Business Intelligence</i> (Inteligência Empresarial)
C4.0	Componente 4.0
CRUD	<i>Create, Read, Update, Delete</i> (Criação, Leitura, Atualização, Exclusão)
CS	Cadeia de Suprimentos
CV	Cadeia de Valor
CVP	Ciclo de Vida do Produto
GCVP	Gestão do Ciclo de Vida do Produto
GI	Gestão da Informação
I4.0	Indústria 4.0
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i> (Internet das Coisas Industrial)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
MDP	Memória Digital do Produto
MFG	<i>Mark Flow Graph</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (Eficiência Global do Equipamento)
OSI	<i>Open System Interconnection</i> (Interconexão Aberta de Sistemas)
PFS	<i>Production Flow Schema</i> (Esquema de Fluxo de Produção)
QoS	<i>Quality of Service</i> (Qualidade de Serviço)
RAMI4.0	<i>Reference Architectural Model Industrie 4.0</i> (Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0)

REST	<i>Representational State Transfer</i> (Transferência Representacional de Estado)
RFID	<i>(Radio-Frequency IDentification)</i> (Identificação por Radiofrequência)
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i> (Arquitetura Orientada a Serviços)
SED	Sistemas a eventos discretos
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UUID	<i>Universal Unique IDentifier</i> (Identificador Único Universal)
WS	<i>Web Service</i> (Serviço Web)
WSD	<i>Web Services Description</i> (Descrição do Serviço Web)
WSDL	<i>Web Services Description Language</i> (Linguagem de Descrição de Serviços Web)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Integração da MDP ao RAMI4.0	15
1.2	Objetivos	16
1.3	Estrutura do trabalho	18
2	METODOLOGIA	19
3	FUNDAMENTOS	21
3.1	Indústria 4.0	21
3.1.1	Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0	25
3.1.2	Asset Administration Shell	29
3.2	Logística & Cadeia de Suprimentos	31
3.2.1	Logística 4.0	35
3.3	Ciclo de vida do produto	36
3.4	Memória digital do produto	38
3.5	Arquitetura orientada a serviços	39
3.5.1	Web Services	40
3.5.2	Transferência Representacional de Estado	43
3.6	Modelagem de sistemas	45
3.6.1	Production Flow Schema	46
4	ARQUITETURA PARA COMPARTILHAMENTO DE INFORMAÇÕES DO ATIVO	49
4.1	Componentes e operações dos serviços de AASs	49
4.1.1	Componentes	49
4.1.2	Operações	51
4.2	Estrutura do AAS	52
4.3	Os dados de serviços no repositório	54
4.4	Fluxo de fornecimento de serviços	56
4.5	Mapeamento das operações no RAMI4.0	59
4.5.1	Funcionalidades das camadas do RAMI4.0	59
4.5.2	Operação de Publicação	62
4.5.3	Operação de Busca	63
4.5.4	Operação de Interação	65
5	O CICLO DE VIDA DO PRODUTO NA I4.0	69

5.1	Ciclo de vida do produto no RAMI4.0	69
5.2	Transformação da competitividade por meio de produtos inteligentes	70
5.2.1	Uso da MDP na melhoria de projeto do produto	71
5.2.2	Uso da MDP na melhoria operacional do produto	73
5.3	Submodelos e propriedades para a integração da cadeia de valor	75
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
	REFERÊNCIAS	77

1 Introdução

O cenário atual de comércio em um mundo intrinsecamente globalizado requer eficiência em troca de informações, serviços e mercadorias; ou seja, eficiência logística. A logística contribui para que pessoas não mais sejam obrigadas a viver perto das fontes de produção e possam trocar informações e mercadorias com outras regiões de forma efetiva, contribuindo decisivamente para melhorar o padrão econômico de vida geral.

A logística moderna envolve primariamente o compartilhamento de dados. A logística da informação lida com o fluxo de informações entre humanos e/ou máquinas dentro ou entre organizações ([HAFTOR; KAJTAZI, 2009](#)), que se agrupam formando uma rede de criação de valor por meio de informações.

A Memória Digital do Produto (MDP) é um conceito que se refere a sistemas que permitem a coleta de dados em todas as fases do ciclo de vida do produto para distribuição e/ou análise ([WAHLSTER, 2007](#)). Os dados de interesse do produto podem ser relativos a qualquer fase do produto ao longo de sua cadeia de valor, o que abrange dados de produção individual, de montagem, de distribuição, de uso por parte do consumidor, etc.

A manutenção da MDP permite o compartilhamento de informações do produto ao longo de sua cadeia de suprimentos, fornecendo dados importantes ao fabricante a fim de se aprimorar o desenvolvimento de novas versões do próprio produto. O compartilhamento de informações funciona também como um elo permanente entre o fornecedor e o cliente no pós-venda, permitindo assim que o produto mantenha atualizações de *software* e quaisquer outras melhorias instantaneamente.

O produto que contém uma memória digital alimentada por meio de sistemas que permitem a coleta de dados em todas as fases do ciclo de vida do produto pode armazenar estes dados e os distribuir para análise ([LASI et al., 2014](#)). Isso abrange dados de produção, montagem, distribuição (transporte) ([BRANDHERM; KRONER, 2011](#)), padrões de uso pelo cliente final, etc.

Tais dados, aliados a técnicas de Inteligência Empresarial (*Business Intelligence – BI*) para análise de dados, podem fornecer informações a serem retroalimentadas na fase de desenvolvimento do produto como forma de identificar pontos de melhorias para o desenvolvimento de novas versões do mesmo produto.

Tais conceitos de compartilhamento de informações de produtos por meio da MDP se encaixam na proposta da Indústria 4.0 (I4.0), que tem como fundamentos a inserção de novas tecnologias com o propósito de se oferecer um alto nível de automação e intercâmbio de informações entre equipamentos e produtos ([LASI et al., 2014](#)).

Portanto, surge na I4.0 oportunidades para a criação de novas soluções centradas no amplo compartilhamento de informações ao longo da cadeia de suprimentos, além de novas metodologias para a extração e análise dessas informações para desenvolvimento de

outros produtos aperfeiçoados.

A Logística da Informação e, consequentemente, a MDP são intrinsecamente relacionados à I4.0, que por sua vez faz o uso extensivo de conhecimentos e técnicas das área de Gestão da Informação (GI) e Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC).

A Indústria 4.0 surgiu a partir da crescente integração das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) às cadeias de valor industriais, criando as bases para a próxima revolução industrial ([HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016](#)). Essa mudança de paradigma na indústria se refere às recentes modificações em relação às tecnologias de manufatura, que passam a proporcionar um alto nível de automação e intercâmbio de informações entre equipamentos, produtos e demais atores em um ambiente de manufatura ([LASI et al., 2014](#)).

O nome Indústria 4.0 (I4.0) se dá ao fato de ser considerada a quarta maior revolução com relação à tecnologia de produção industrial, sendo as “revoluções industriais” consideradas evoluções tecnológicas que levaram a grandes mudanças no paradigma de produção, tal histórico de revoluções no campo da indústria é ilustrado na [Figura 1](#).

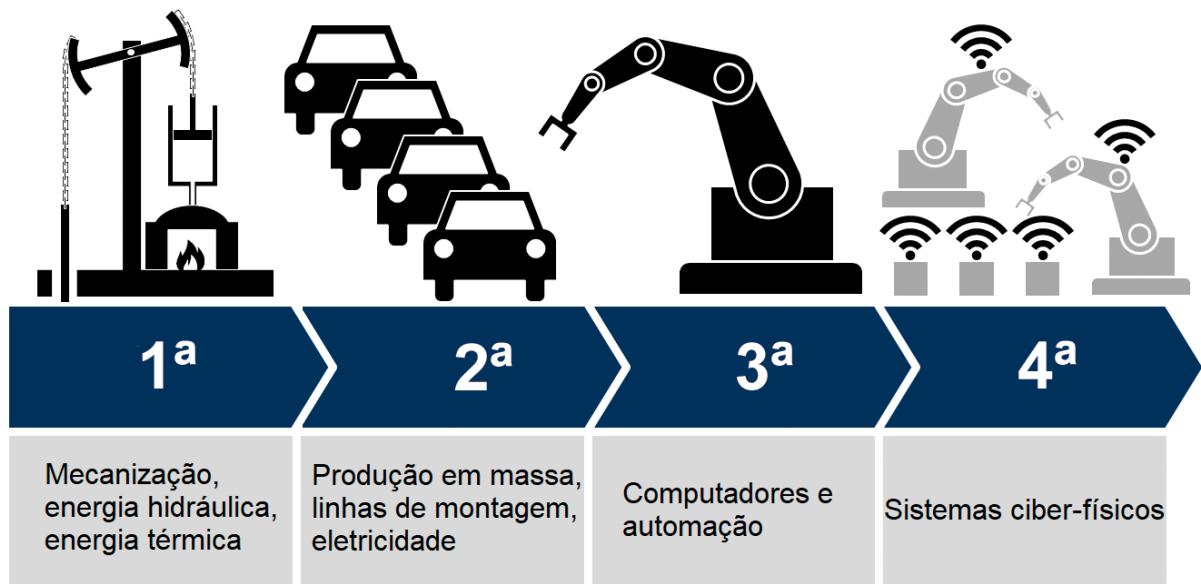


Figura 1 – As revoluções industriais.

Fonte: [Lasi et al. \(2014\)](#) (adaptado).

Tais modificações na indústria são essenciais devido às novas necessidades da própria indústria e às mudanças de padrões de consumo do mercado. Isto acarreta transformações no cenário operacional destas indústrias. Algumas das causas dessas mudanças operacionais são ([LASI et al., 2014](#)):

- Períodos de desenvolvimento curtos: Os períodos de desenvolvimento e inovação de produtos estão sendo reduzidos. A alta capacidade de inovação está se tornando um

fator de sucesso para muitas empresas (*Time to market*);

- Individualização sob demanda: Os compradores passam a definir as condições de compra. Essa tendência leva a uma crescente individualização de produtos com características altamente personalizadas e, em casos extremos, a produtos individuais;
- Flexibilidade: Devido à individualização sob demanda, novas estruturas e organizações na indústria são essenciais para a fabricação de produtos com alto grau de personalização. É necessária uma maior flexibilidade no desenvolvimento do produto, especialmente na produção;
- Descentralização: Para lidar com condições específicas de cada produto, são necessários procedimentos mais rápidos de tomada de decisão. Para isso, as hierarquias organizacionais precisam ser reduzidas, dando ao produto maior independência sobre seu próprio processo de fabricação;
- Eficiência de recursos: A maior eficiência sobre o uso dos recursos sempre é algo desejável, porém sua importância se intensifica com as tendências de aumento dos preços dos recursos, bem como a mudança social no contexto de aspectos ecológicos. Isto exige um foco mais intenso em sustentabilidade, o que decorre em uma maior racionalidade (ou eficiência) na utilização dos recursos.

[Hermann, Pentek e Otto \(2016\)](#) elencam alguns princípios para I4.0 que devem ser considerados para o projeto de implementação de soluções I4.0, são eles: interoperabilidade, transparência de informação, descentralização de decisões e assistência técnica.

Estes princípios são diretrizes para o desenvolvimento de arquiteturas para a I4.0. As arquiteturas surgem com a necessidade de se definir padrões para a implantação de um sistema. Por ser um assunto novo, as arquiteturas de sistemas produtivos voltadas para a quarta revolução industrial também se encontram em estágio inicial ([PISCHING, 2018](#)). Hoje, o mais consolidado modelo de arquitetura para a Indústria 4.0 é o RAMI4.0 (Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0). Esse modelo de arquitetura foi apresentado na feira industrial de Hanôver na Alemanha em abril de 2015.

O RAMI4.0 apresenta uma representação tridimensional, conforme a [Figura 2](#). Nos três eixos do RAMI4.0 são descritos os níveis hierárquicos de uma fábrica ligada em rede através da Internet (Eixo Níveis Hierárquicos), a representação de arquitetura dos componentes I4.0 (Eixo Camadas) e o ciclo de vida de instalações e de produtos (Eixo Ciclo de Vida e Cadeia de Valor).

O RAMI4.0, como um modelo de referência, é um elemento para padronização do projeto e implantação de aplicações em I4.0. O RAMI4.0 é uma padronização de linguagem e deve ser aceito e usados por todos os participantes para protótipo, desenvolvimento e validação.

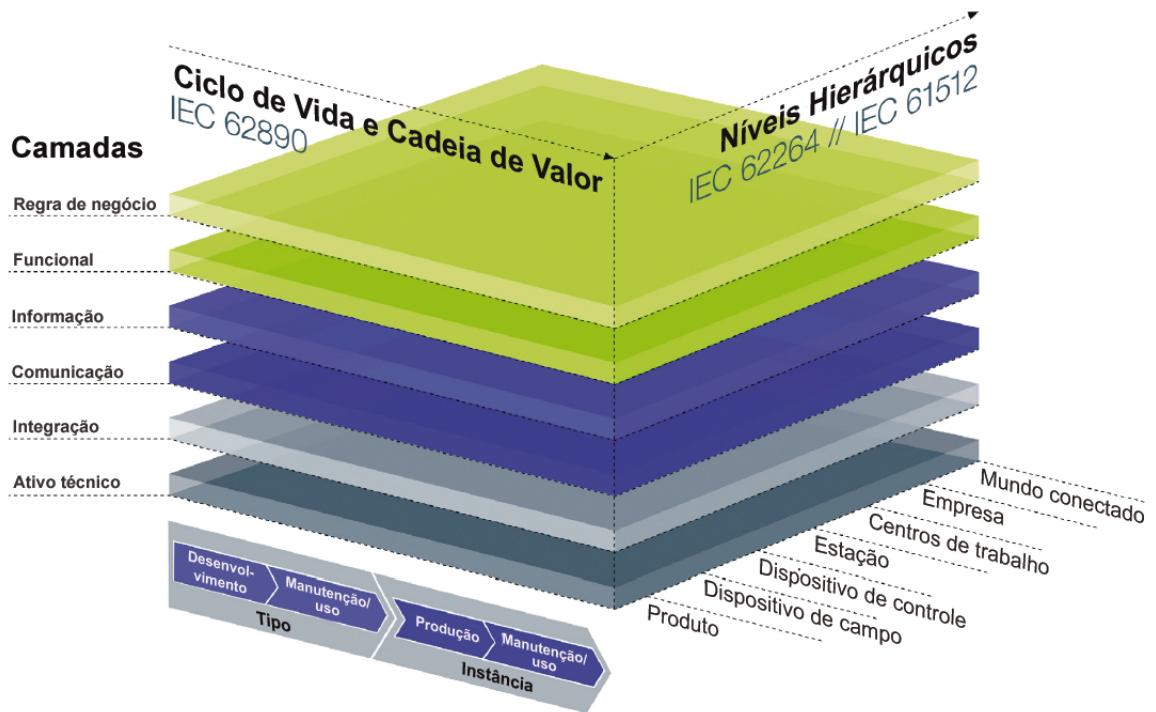


Figura 2 – Representação do RAMI4.0.

Fonte: Adolphs et al. (2015) (adaptado).

1.1 Integração da MDP ao RAMI4.0

Ambos os conceitos de I4.0 e MDP são recentes, surgidos em 2011 (KAGERMANN; LUKAS; WAHLSTER, 2011) e 2007 (WAHLSTER, 2007), respectivamente. A área multidisciplinar de estudo envolvendo MDP e I4.0 surgiu em 2013 com o projeto SemProM (WAHLSTER, 2013b), porém ainda quando I4.0 era um conceito abrangente e sem diretrizes concretas para sua implementação, que ocorreria em 2013 por meio do documento de recomendações para implementação da iniciativa estratégia Industrie 4.0 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013); e sem a criação do modelo de arquitetura de referência para Indústria 4.0 (RAMI4.0), que seria divulgado em 2015 por meio do documento intitulado “RAMI4.0”, divulgado por um periódico alemão (HANKEL; REXROTH, 2015).

Alguns outros estudos como Lasi et al. (2014) citam MDP como oportunidade de estudo e aplicação dentro da I4.0, outros como Weyer et al. (2015) e Paelke (2014) implementam sistemas práticos envolvendo ambos os conceitos, porém sem considerações sobre cadeia de valor.

Há estudos na área multidisciplinar de I4.0 e MDP, principalmente no meio acadêmico, empresarial e governamental alemão pelo fato de esses conceitos terem surgido na Alemanha. Porém nenhum trabalho até o presente momento relaciona o modelo de arquitetura de referência para a I4.0 (RAMI4.0) com a MDP. I4.0 e a MDP são concei-

tos altamente correlacionados, porém ainda não amplamente abordados em conjunto na literatura, o que aponta uma lacuna de conhecimento dentro de I4.0 a ser explorada.

Estudos sobre o RAMI4.0 são importantes no sentido de padronizar a implementação da I4.0 em empresas de diferentes negócios, garantindo assim a interoperabilidade dos serviços. O eixo “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor” apresenta diretrizes para o correto planejamento da vida de um produto e sugere cenários para criação de valor perceptível ao produto/serviço. Integrar o conceito de MDP ao RAMI4.0 enriquece o nível de discussão sobre essa arquitetura de referência e dá mais robustez ao modelo para uma futura adoção generalizada por parte de empresas por todo o mundo.

A “Plattform Industrie 4.0” é uma das principais redes mundiais de discussão sobre I4.0 ([KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013](#); [ACATECH, 2014](#); [GERMANY, 2019](#)). O Conselho de Pesquisa da Plattform Industrie 4.0 é o comitê consultivo estratégico da Plattform Industrie 4.0 e identifica necessidades de pesquisa e ações em torno da I4.0. O comitê identificou e definiu quatro temas-chave de abordagens no setor tecnológico, econômico, metodológico e social/legal para se implementar com sucesso a I4.0 ([HIRSCHKREINSEN et al., 2019](#)), conforme mostrado na [Figura 3](#). Isso significa que os tópicos elencados são temas com alto potencial de otimização de rotinas e processos de produção existentes no cenário de I4.0.

Dentre os temas elencados na [Figura 3](#), destacam-se os subitens relacionados ao tópico “Cenários de criação de valor em Indústria 4.0” por estarem altamente relacionados ao RAMI4.0 e ao conceito de geração de valor por meio da MDP. O desenvolvimento de arquiteturas para geração de valor e a criação de negócios orientados a dados são temas de grande oportunidade dentro do cenário de I4.0, especialmente se considerando os métodos quantitativos de *Business Intelligence* e de análise de dados já estabelecidos.

1.2 Objetivos

O objetivo do trabalho é a proposta de um arquitetura orientada a serviços baseada no RAMI4.0 para o compartilhamento da memória digital do produto ao longo da cadeia suprimentos.

Para isso, é feita uma integração do conceito de MDP ao RAMI4.0, mapeando suas funções ao eixo Camadas do RAMI4.0.

São feitas também considerações sobre o impacto do amplo compartilhamento da memória digital do produto ao longo da cadeia de suprimentos no ciclo de vida do produto e como isto pode gerar novos modelos de negócio.

Portanto, os eixos “Camadas” e “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor” são detalhados de forma a se aperfeiçoar a elaboração dessa arquitetura a fim de proporcionar mais robustez ao modelo para uma futura adoção generalizada por parte de empresas por todo o mundo.

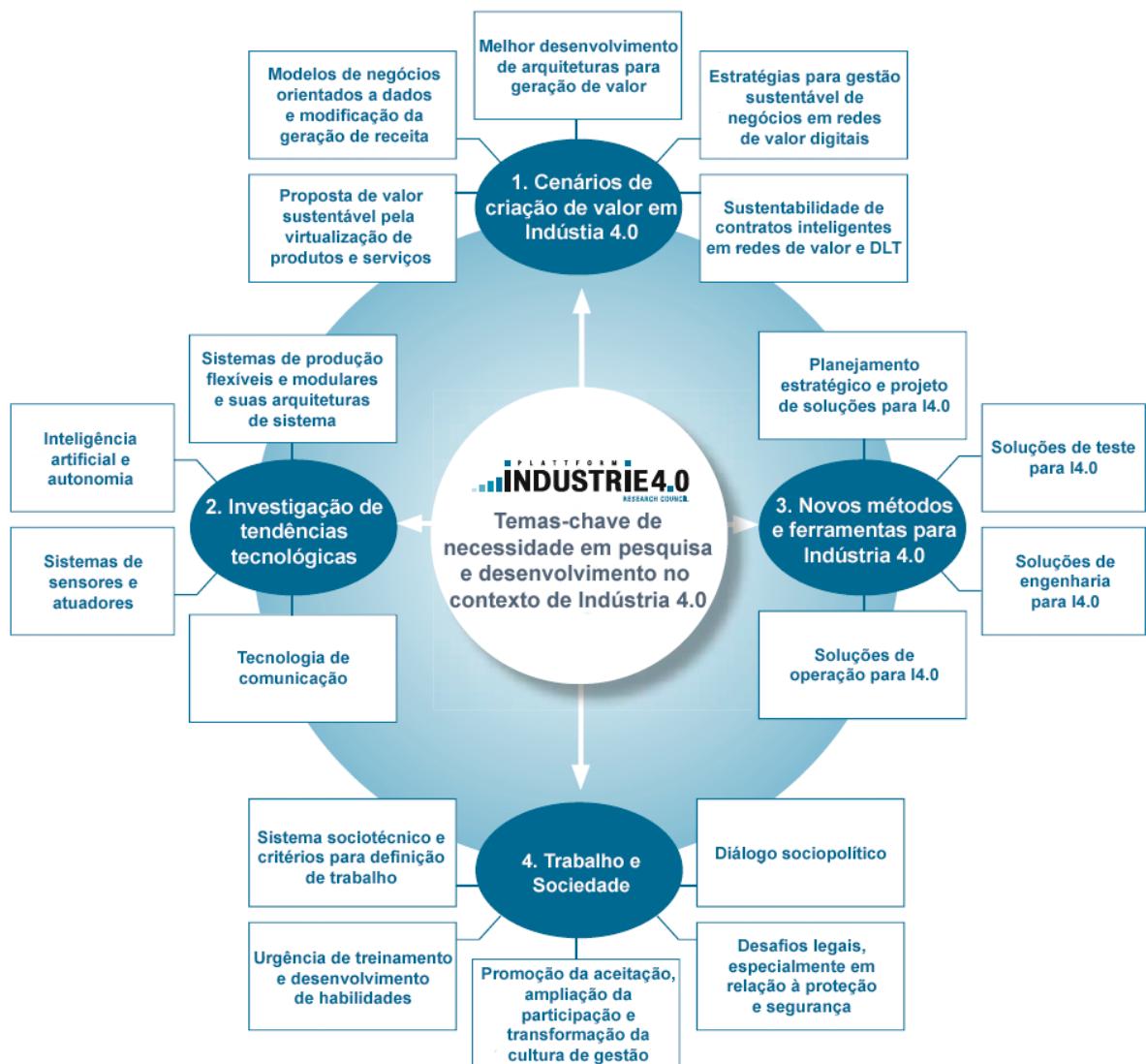


Figura 3 – Temas-chave de pesquisa e desenvolvimento em I4.0.

Fonte: Hirsch-Kreinsen et al. (2019) (adaptado).

Todo o estudo é feito com a proposta de aperfeiçoar o RAMI4.0 no sentido de propiciar o surgimento de novos cenários para a criação de valor no contexto de I4.0 e incentivar a geração de novos modelos de negócio, especialmente aqueles baseados em dados (*data-driven*).

Esta pesquisa envolve o estudo de diversos temas relacionados à Indústria 4.0. Os principais itens necessários para a elaboração da arquitetura de compartilhamento de dados são fundamentados no [Capítulo 3](#).

Tais temas são estudados a fim de se analisar o estado da arte atual em I4.0 e a partir disso propor melhorias e detalhamentos ao RAMI4.0.

1.3 Estrutura do trabalho

O capítulo atual de introdução ([Capítulo 1](#)) apresenta uma abordagem inicial dos conceitos que serão tratados ao longo do trabalho e o objetivo da pesquisa.

O [Capítulo 2](#) detalha a metodologia de pesquisa adotada ao longo de todo o projeto de pesquisa.

O [Capítulo 3](#) apresenta a revisão bibliográfica realizada para a fundamentação dos conceitos necessários para a proposta da arquitetura de compartilhamento de informações do ativo. Cinco conceitos básicos são apresentados nesse capítulo: “Indústria 4.0”, “Logística & Cadeia de Suprimentos”, “Ciclo de vida do produto”, “Memória digital do produto”, “Arquitetura orientada a serviços” e “Modelagem de sistemas”.

O [Capítulo 4](#) apresenta os detalhes da arquitetura proposta baseada em *Web Services* (WS) nos moldes de uma arquitetura orientada a serviços (SOA) compatível com Componentes I4.0 para o compartilhamento de informações do ativo ao longo da cadeia de suprimentos. Neste capítulo também é feito o mapeamento de cada um dos elementos desta arquitetura a cada um dos níveis do eixo Camadas do RAMI4.0.

O [Capítulo 5](#) traz discussões sobre o impacto do amplo compartilhamento da memória digital do produto ao longo da cadeia de suprimentos por meio de *Web Services*, são abordadas possíveis mudanças na curva de ciclo de vida do produto e o surgimento de novos modelos de negócio baseados em dados.

Finalmente, no [Capítulo 6](#) são feitas as considerações sobre a pesquisa com comentários sobre os resultados alcançados.

2 Metodologia

O trabalho é executado a partir de revisão bibliográfica de textos acadêmicos, como dissertações e teses, artigos publicados em revistas acadêmicas, livros teóricos e notas de estudos técnicos. A revisão bibliográfica tem o objetivo de se inteirar do estado da arte das tecnologias envolvidas na Indústria 4.0.

As disciplinas obrigatórias do programa de pós-graduação cursadas durante o período do mestrado foram selecionadas com base na relevância e relacionamento com a natureza da pesquisa em Indústria 4.0 e incluem disciplinas também de outros programas de pós-graduação, como o de Engenharia Elétrica, Engenharia de Transportes e Engenharia de Produção.

A metodologia adotada neste projeto é baseada na proposta por Jensen (1997), onde as etapas de pesquisa são compostas por um ciclo repetitivo de três aspectos, sendo elas: as teorias, as ferramentas e as aplicações; conforme ilustrado na [Figura 4](#).

O próprio conhecimento adquirido nas disciplinas por meio da aprendizagem de novas “ferramentas” pode modificar parte das “aplicações” e com isso realimentar as “teorias” iniciais. Mediante a evolução do projeto ao longo do tempo, novas propostas surgem, e com isso a necessidade do aprendizado de novos conceitos/teorias.

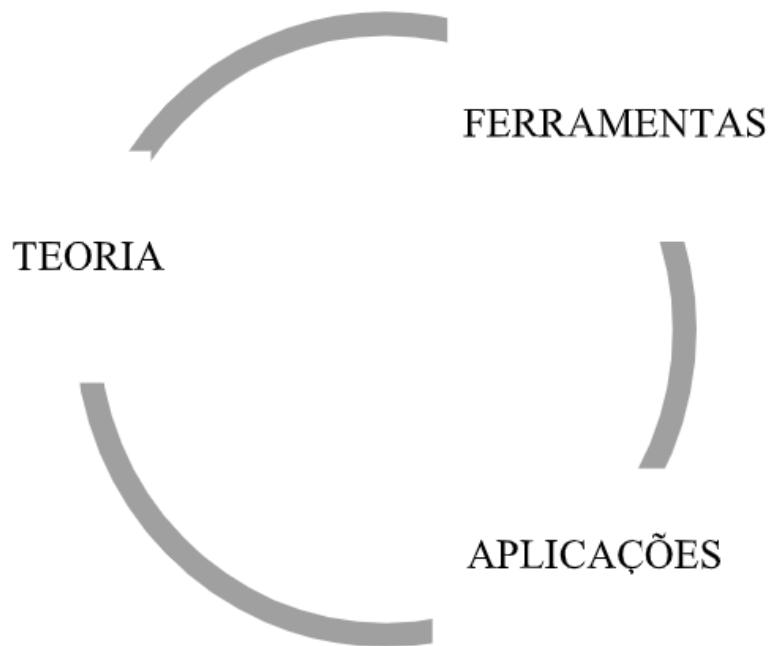


Figura 4 – Metodologia de pesquisa utilizada.

Fonte: [Jensen \(1997\)](#) (adaptado).

Aplicando-se a metodologia proposta por Jensen (1997) para o caso específico da

pesquisa em questão, pode-se listar teorias, ferramentas e aplicações individuais do projeto apresentadas em diferentes fases do projeto de pesquisa.

A [Figura 5](#) mostra os elementos da metodologia de [Jensen \(1997\)](#) reformulados em diferentes fases do projeto: (a) na proposta inicial do projeto de pesquisa, (b) no relatório anual após um ano de pesquisa e (c) no texto para a qualificação do programa de mestrado.

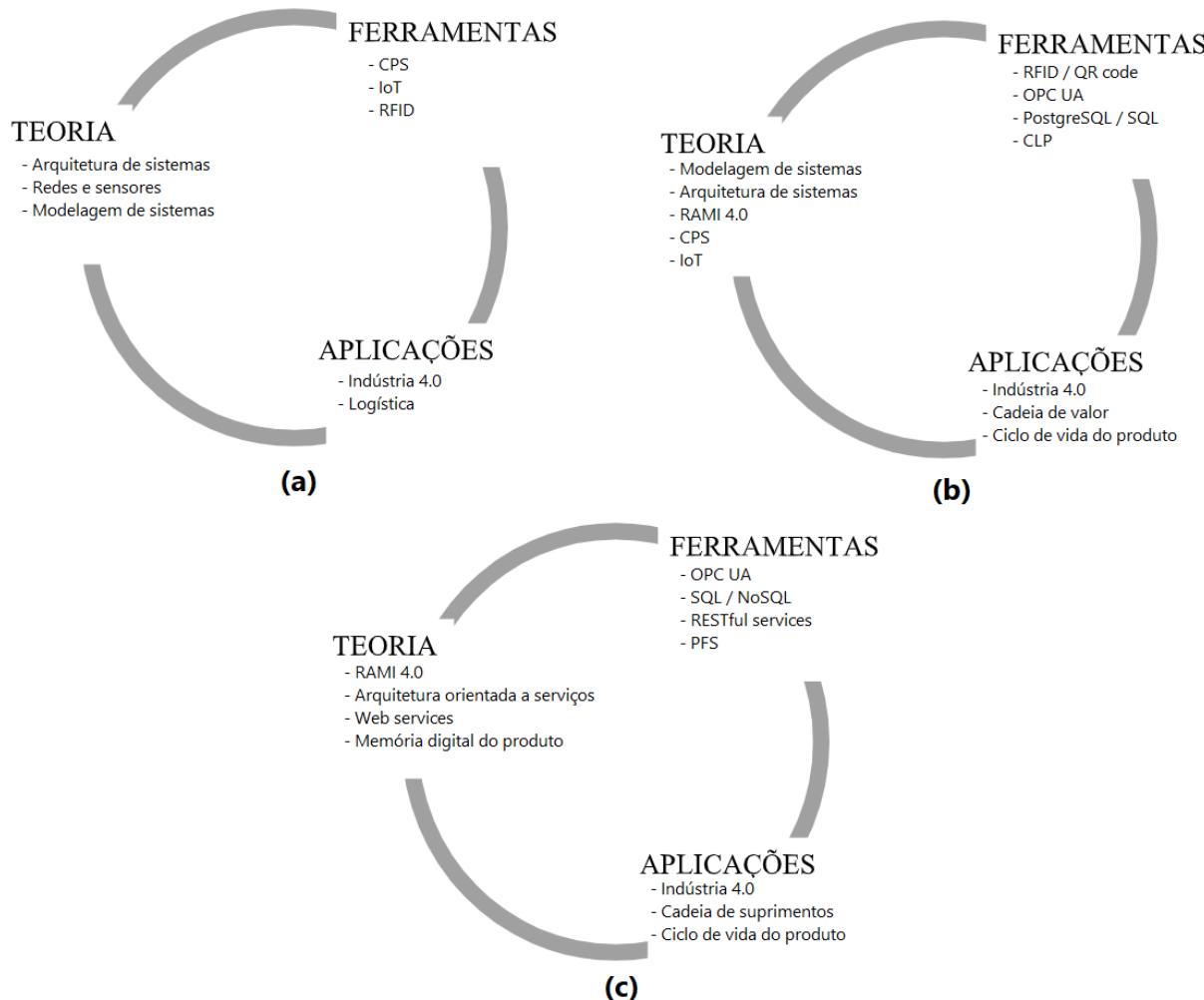


Figura 5 – Teorias, ferramentas e aplicações apontadas em diferentes fases do projeto de pesquisa.

Os ciclos mostrados na [Figura 5](#) se modificam constantemente à medida que o projeto de pesquisa evolui. Portanto, os três aspectos identificados no ciclo devem evoluir simultaneamente, recondicionando-se mutuamente.

3 Fundamentos

Nesse capítulo é apresentada a revisão bibliográfica necessária para a fundamentação dos capítulos subsequentes.

Seis conceitos básicos são apresentados: “Indústria 4.0”, “Logística & Cadeia de Suprimentos”, “Ciclo de vida do produto”, “Memória digital do produto”, “Arquitetura orientada a serviços” e “Modelagem de sistemas”.

A inter-relação entre esses conceitos é a base para o entendimento e criação da arquitetura para o compartilhamento de informações sobre o ativo ao longo da cadeia de suprimentos e para a elaboração de considerações sobre implicações do massivo compartilhamento de informações no ciclo de vida do produto no contexto da Indústria 4.0.

3.1 Indústria 4.0

Indústria 4.0 (I4.0) é o nome dado às recentes modificações em relação às tecnologias utilizadas em processos industriais e à forma de organização dos sistemas industriais. Tais tecnologias são inseridas com o propósito de se oferecer um alto nível de automação e intercâmbio de informações entre equipamentos e produtos ([LASI et al., 2014](#)).

O nome I4.0 se dá pelo fato de ser considerada a quarta grande revolução com relação às tecnologias de produção industrial, sendo as “revoluções industriais” consideradas evoluções tecnológicas que levaram a grandes mudanças no paradigma de produção. As outras transições dentro da indústria ao longo da história aconteceram: no campo da mecanização da produção (1^a revolução industrial), com a produção em massa e intenso uso de energia elétrica (2^a revolução industrial) e com a expansão da automação e eletrônica (3^a revolução industrial) ([LASI et al., 2014](#)). Tal histórico de revoluções no campo da indústria é ilustrado na [Figura 6](#).

O termo I4.0 foi trazido a público pela primeira vez em 2011 na feira industrial de Hanôver (*Hannover-Messe*) ([KAGERMANN; LUKAS; WAHLSTER, 2011](#)), que é uma feira tecnológica de grande relevância internacional e tem o costume de apresentar grandes inovações relacionadas ao setor industrial.

Por vezes, a I4.0 é tratada também como a convergência da produção industrial com as novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) ([HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016](#)).

Embora o termo I4.0 seja bastante comum na discussão tecnológica atual, muitas empresas, centros de pesquisa e universidades não mantêm uma definição comum sobre o assunto. Segundo [Hermann, Pentek e Otto \(2016\)](#) e com base em uma revisão de literatura

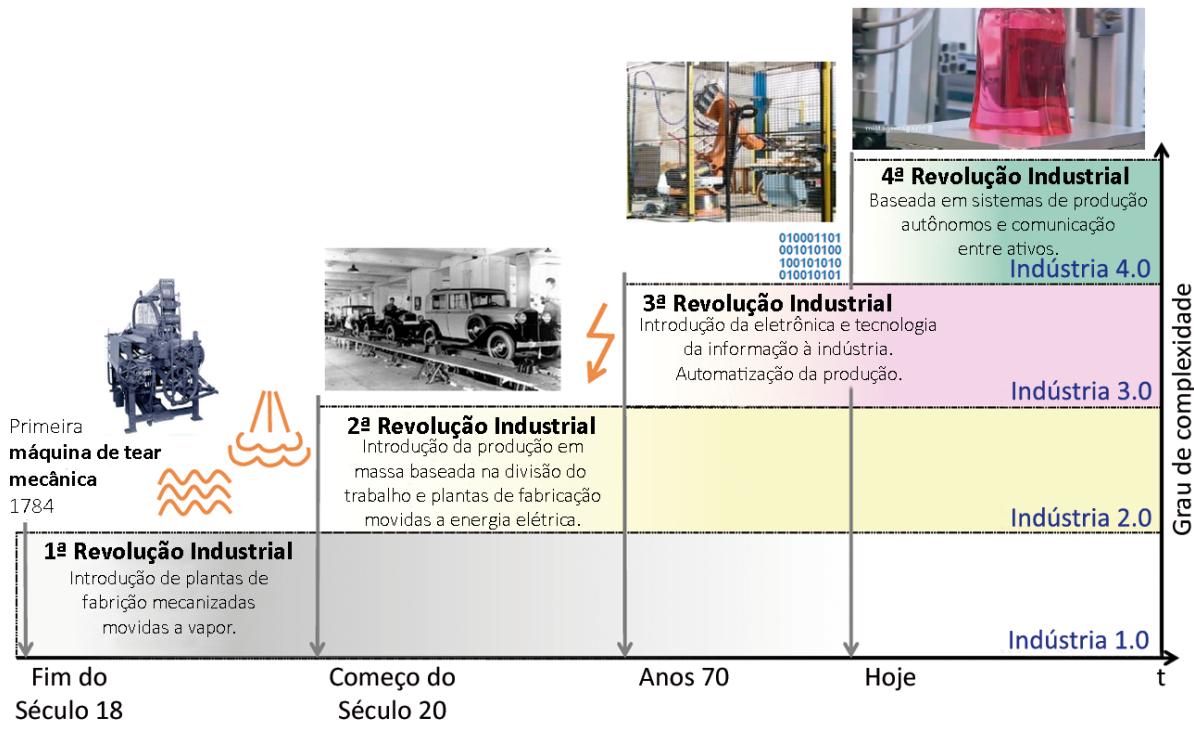


Figura 6 – Evolução da indústria por meio das revoluções industriais.

Fonte: [Wahlster \(2013a\)](#) (adaptado).

feita pelos mesmos autores, a I4.0 é composta por quatro princípios de projeto para sua implementação, conforme listados na [Tabela 1](#).

Princípio	Descrição
Interoperabilidade	Capacidade das coisas (máquinas, dispositivos, sensores, pessoas, etc) de comunicarem entre si dentro de um sistema por meio de padrões definidos.
Transparência de informação	Tornar acessíveis informações úteis para os demais dispositivos conectados à rede. Informações do mundo virtual como documentos eletrônicos, desenhos, modelos de simulação; e informações sobre o mundo real, como posição, dados de sensores de temperatura, vibração, etc.
Descentralização de decisões	Permitir a tomada de decisões baseada nas informações coletadas pelo próprio dispositivo e dar ao dispositivo autonomia para decidir qual será sua próxima função/operação. Desta forma, um planejamento ou controle central de processos produtivos não se faz essencial e o sistema de produção se torna menos hierarquizado.
Assistência técnica	Devido à complexidade da produção, com redes complexas e tomada decisões descentralizadas, os seres humanos precisam ser auxiliados por sistemas de assistência de forma a dar comprehensibilidade ao processo e às tomadas de decisão necessárias. Os sistemas de assistência devem agregar e tornar visualizáveis as informações de maneira comprehensível.

Tabela 1 – Princípios para implantação da I4.0 baseados em [Hermann, Pentek e Otto \(2016\)](#).

A quarta revolução industrial já está em curso segundo o Fórum Econômico Mundial ([SCHWAB, 2016](#)) em seu encontro anual realizado em Davos no ano de 2016 e as razões

para o surgimento desse novo paradigma de produção incluem: a competição acirrada entre empresas, a alta complexidade de manufatura dos produtos e os seus altos níveis de personalização por parte dos clientes (BORDELEAU; MOSCONI; SANTA-EULALIA, 2018; VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018).

Uma das bases para esse novo paradigma de produção é a interligação de objetos no ambiente de produção por meio de identificadores individuais usando conceitos de Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) e de Internet das Coisas Industrial (*Industrial Internet of Things - IIoT*). Tais “coisas” se referem a equipamentos, produtos, máquinas, peças, pessoas e quaisquer outros elementos envolvidos no ambiente industrial, que por vezes também são denominados “ativos”.

Esses ativos são inseridos no meio digital, onde podem trocar informações entre si e executarem funções sobre seus respectivos correspondentes reais de forma mais autônoma e com menor intervenção humana por meio do uso extensivo de recursos avançados de tecnologias da informação e comunicação (ADOLPH et al., 2018). Devido a essa maior relação entre elementos do sistema de fabricação, extingui-se a relação essencialmente hierarquizada da indústria tradicional e os ativos passam a deter a capacidade de se comunicar diretamente com outros elementos de diferentes níveis, conforme ilustrado na Figura 7.

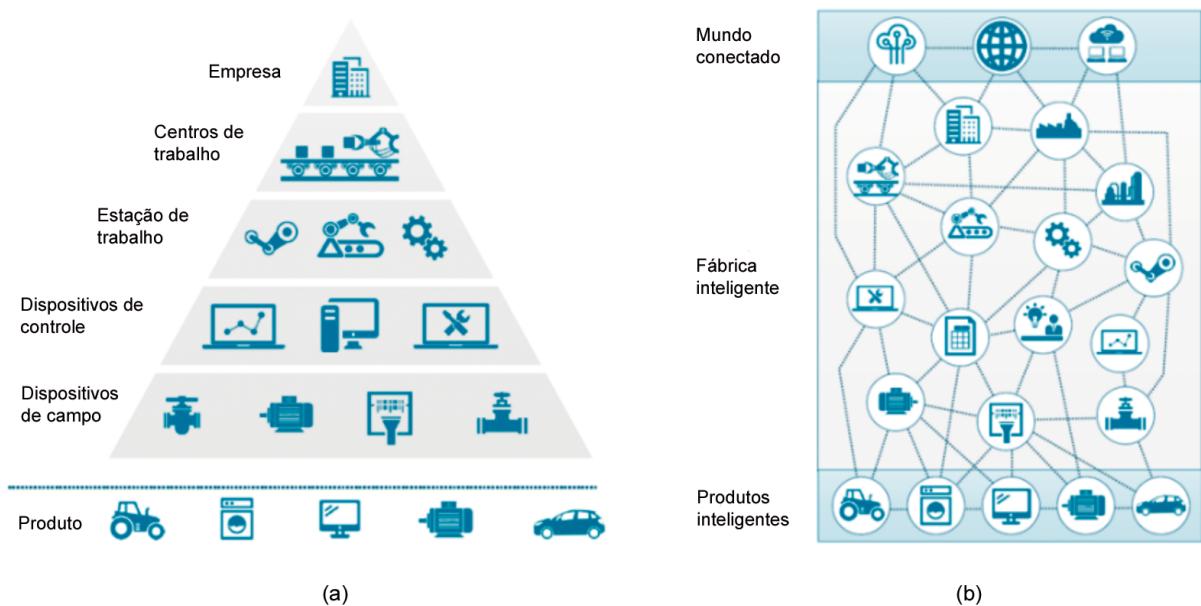


Figura 7 – Transição do (a) modelo hierárquico tradicional para o (b) modelo flexível de comunicação entre dispositivos na Indústria 4.0.

Fonte: Schmittner et al. (2017) (adaptado).

Essa automatização e a troca de informações entre os ativos tem grande potencial de dar mais eficiência aos processos industriais, pois desta forma o sistema pode tomar

decisões ótimas com base nas informações que lhe foram fornecidas por meio de sensores e identificadores. A visão para o futuro da produção baseado na I4.0 envolve sistemas de manufatura modulares e eficientes em cenários nos quais os produtos controlam seus próprios processos de fabricação (LASI et al., 2014).

Há uma tendência global de redução do ciclo de vida do produto devido à rápida introdução de novas tecnologias para satisfazer a demanda dos clientes, especialmente em produtos eletrônicos (TRAPPEY; WU, 2008). A I4.0 se beneficia da chegada de produtos com curto ciclo de vida uma vez que o produto controla seu próprio processo de fabricação, facilitando, assim, ajustes e personalizações por parte do cliente, enquanto preserva os custos, a qualidade e o tempo de aprovisionamento (*lead time*) da produção em massa.

Indústria 4.0 é um conceito. Isto significa que são princípios a serem seguidos e implementados, porém o caminho para a implementação, assim como as tecnologias a serem adotadas podem ser diversos. As peculiaridades de cada indústria e de cada mercado estabelecem diferentes regras de negócios e, portanto, cada setor da indústria pode necessitar de diferentes formas e tecnologias para se implementar a I4.0 e se tornar uma fábrica inteligente. Alguns avanços tecnológicos, entretanto, são muito importantes ou essenciais para a implementação da I4.0 em qualquer sistema de manufatura, alguns deles são mostrados na Figura 8.

Após a primeira aparição do termo I4.0 na feira industrial de Hanôver em 2011, o termo ganhou significativa popularidade, principalmente no meio acadêmico e empresarial alemão. O termo foi então incentivado pelo governo alemão (LASI et al., 2014; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013), que apoiou a ideia e anunciou a Indústria 4.0 como parte integral de sua iniciativa estratégica para a indústria alemã, visando liderança em inovação tecnológica (DRATH; ALEXANDER, 2014) como uma abordagem para fortalecer a competitividade da indústria manufatureira alemã.

Por meio da iniciativa *Plattform Industrie 4.0*, criada em 2013 pelo Ministério Federal da Educação e Pesquisa (*Bundesministerium für Bildung und Forschung*) (GERMANY, 2019) e com o grupo de trabalho “Industrie 4.0 Working Group” em comunicação com diversas associações de engenharia e indústrias alemãs, foram criados documentos oficiais como os de Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), Adolph et al. (2018) e Dorst et al. (2016), publicados em inglês, contendo normas e diretrizes para a implementação da I4.0. Esta iniciativa, atrelada ao entusiasmo acadêmico em torno do projeto I4.0, disseminou o conceito fora da área de língua alemã e popularizou o termo I4.0 no mundo todo como epônimo de um futuro projeto no contexto de indústrias de alta tecnologia.

O impacto econômico dessa revolução industrial será enorme, pois a I4.0 promete uma eficiência operacional substancialmente maior, bem como o surgimento de modelos de negócios, serviços e produtos de totalmente novos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Em revoluções industriais passadas, os países pioneiros a se adaptarem às drásticas mudanças de produção foram os que mais se beneficiaram e se consolidaram como potências

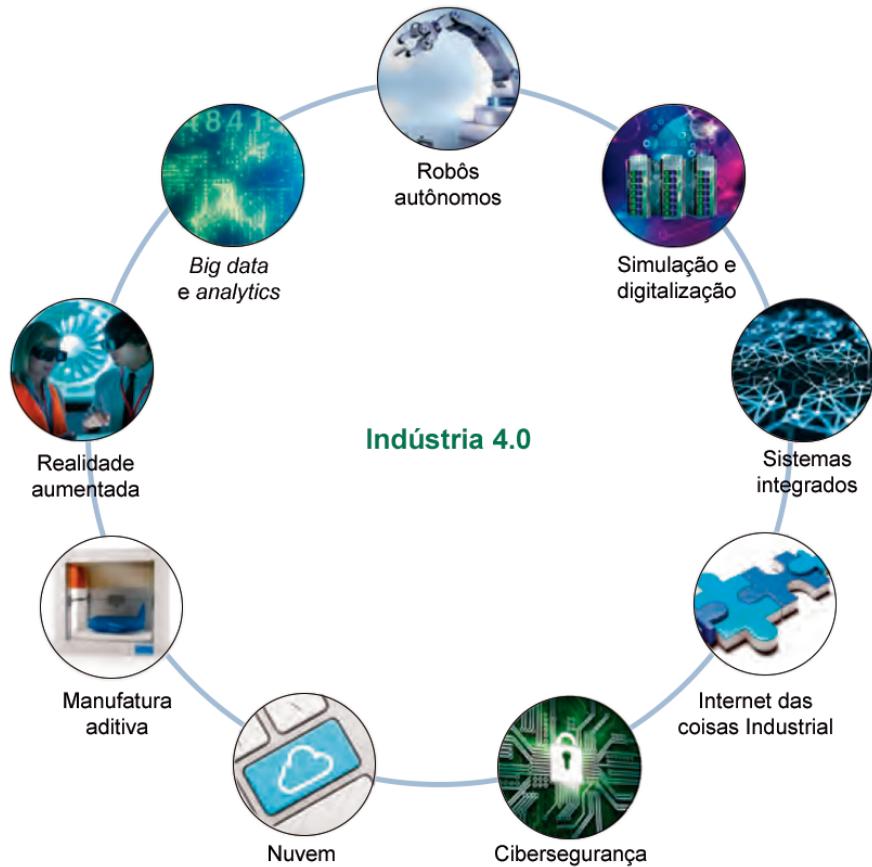


Figura 8 – Avanços tecnológicos que moldam a I4.0.

Fonte: Rüßmann et al. (2015) (adaptado).

econômicas. Na quarta revolução industrial não será diferente. Embora a mudança completa para a I4.0 possa levar 20 anos para ser concretizada (RÜßMANN et al., 2015), nos próximos anos serão estabelecidos avanços importantes que definirão os pioneiros e detentores de tecnologias dessa nova revolução. Portanto, é de interesse de cada país liderar a concorrência global a fim de se consolidar como mercado líder e fornecedor de soluções para a Indústria 4.0.

3.1.1 Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0

O Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0, abreviado RAMI4.0, consiste em um sistema de coordenadas tridimensional que descreve todos os aspectos cruciais da Indústria 4.0. Dessa maneira, inter-relações complexas podem ser divididas em grupos menores e mais simples.

A Figura 2 mostrou a representação do RAMI4.0, especificando os itens contidos em cada eixo. A Tabela 2 fornece uma breve descrição de cada eixo do RAMI4.0.

A Figura 9 mostra o detalhamento de cada elemento do eixo Camadas do RAMI4.0 e sua associação ao modelo completo.

Eixo	Descrição
Camadas	As seis camadas no eixo vertical descrevem a decomposição de um ativo em suas funcionalidades, isto é, o mapeamento virtual de um ativo. A representação em camadas se origina da tecnologia da informação e comunicação (TIC), onde as funcionalidades de sistemas complexos são comumente divididas em camadas.
Ciclo de vida e Cadeia de valor	O eixo horizontal esquerdo representa o ciclo de vida das instalações e produtos, com base na IEC 62890 para gerenciamento do ciclo de vida. Além disso, é feita uma distinção entre “tipos” e “instâncias”. Um “tipo” é criado na fase de desenvolvimento e, uma vez concluída esta fase, esse tipo é liberado para a produção, servindo como modelo para uma “instância”, que é quando produto real está sendo fabricado e possui um número de série.
Níveis hierárquicos	No eixo horizontal direito estão indicados os níveis hierárquicos da IEC 62264, a série de padrões internacionais para sistemas de TI e controle corporativos. Os níveis hierárquicos representam as diferentes funcionalidades das fábricas. Para representar o ambiente I4.0, as funcionalidades foram expandidas, incluindo adicionalmente o “Produto”, o “Dispositivo de campo” e o “Mundo conectado”.

Tabela 2 – Eixos do RAMI4.0.

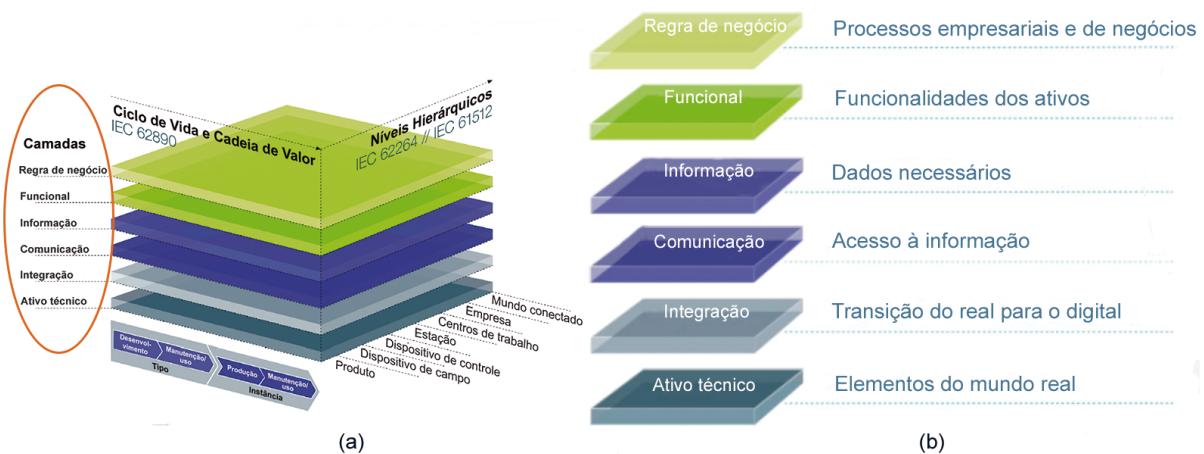


Figura 9 – (a) Representação completa do RAMI4.0 e (b) detalhamento de cada elemento do eixo “Camadas”.

Fonte: [Gayko \(2018\)](#) (adaptado).

São 6 as camadas do RAMI4.0. O propósito de cada camada, começando da mais inferior (Ativo) para a mais elevada (Regra de Negócio), é descrito a seguir (DORST et al., 2016):

1. **Ativo:** Representa um elemento da realidade não necessariamente físico, como, por exemplo, uma máquina, um *software*, uma documentação, uma ideia, etc. O trabalhador e seu conhecimento sendo aplicado representa também um ativo. Nesta camada física estão os fornecedores de dados, ou seja, os elementos que servirão como fonte de dados. Normalmente estes dados gerados pelo ativo são extraídos e monitorados para fins de controle da planta de produção. Os ativos são integrados ao meio digital através da camada de Integração.

2. **Integração:** Camada responsável pela extração e fornecimento de informações sobre os ativos para as camadas superiores. Representa a digitalização dos ativos. Cada evento no mundo real é refletido também em um evento no mundo virtual. Se a realidade mudar, esse evento então é relatado à camada de integração e os dados são atualizados no mundo virtual.
3. **Comunicação:** Padronização da comunicação por meio da adoção de um formato de troca de dados uniforme entre os dispositivos. Esta camada é a responsável pela interoperabilidade entre os ativos na I4.0. Aqui ocorre a integração vertical, ou seja, a comunicação entre ativos dentro da mesma empresa. A camada de Comunicação fornece dados sobre o ativo à camada de informação.
4. **Informação:** Controle dos dados do ativo. Esta camada agrupa todos os dados sobre um determinado ativo e é responsável pelo gerenciamento desses dados. Na camada de informação são garantidos que os dados sejam tratados, pré-processados, armazenados e disponibilizados para os demais ativos na rede.
5. **Funcional:** Contém a descrição formal de todas as funcionalidades do sistema. É também a camada responsável pela integração horizontal de ativos, ou seja, é a porta de interação entre Componentes I4.0 de diferentes empresas. Esta camada é a interface para o fornecimento de informações por meio de microsserviços para ativos fora da empresa.
6. **Regra de negócio:** Contém as regras de negócio que o sistema deve seguir como, por exemplo, as condições legais e regulatórias. Esta camada também é responsável por mapear os modelos de negócios e fornecer restrições operacionais da planta de produção.

Já os elementos do eixo “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor” do RAMI4.0 são detalhados na [Figura 10](#), juntamente com seu destaque dentro do modelo completo.

A I4.0 oferece um grande potencial de aprimoramento dos processos ao longo do ciclo de vida do produto. Este eixo fornece uma representação do estado do ativo ao longo de toda sua cadeia de suprimentos e sua cadeia de valor.

É feita a distinção fundamental entre “tipo” e “instância”, cada um correspondendo a uma fase em que o produto se encontra ([ADOLPHS et al., 2015](#)).

Um tipo é sempre criado com uma ideia inicial, ou seja, quando um produto surge na fase de desenvolvimento. Isso abrange o comissionamento, desenvolvimento e testes até a produção inicial de amostras e protótipos ([ADOLPH et al., 2018](#)).

Com a conclusão de todas as etapas de testes e validação, o tipo é liberado para produção em série. A partir de então, novos produtos podem ser instanciados com base neste tipo validado.

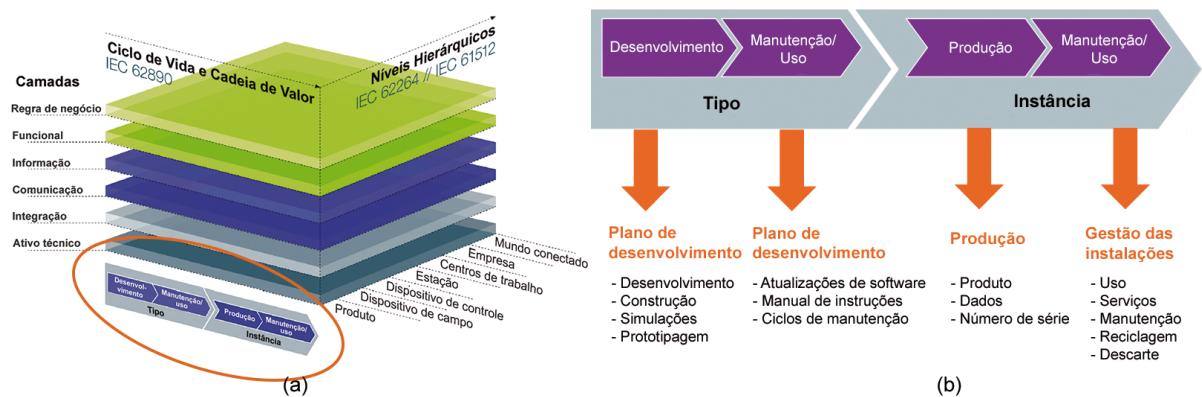


Figura 10 – (a) Representação completa do RAMI4.0 e (b) detalhamento do eixo “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor”.

Fonte: [Gayko \(2018\)](#) (adaptado).

Com a fabricação do produto, instâncias são geradas. Cada produto fabricado representa uma instância de um determinado tipo e recebe um número de série exclusivo.

As melhorias sobre um produto feitas pelo fabricante refletem em um novo tipo, que por sua vez pode ser usado para fabricar novas instâncias, acompanhando, assim, o ciclo de vida do produto.

O último eixo descrito, “Níveis Hierárquicos”, do RAMI4.0 é apresentado na [Figura 11](#). Nesta representação, o último nível – “Mundo conectado” (não representado no detalhamento à direita) – é a interconexão e interoperabilidade entre as mais de diversas empresas, que por sua vez possuem todas as demais camadas inferiores listadas.

Este eixo representa as diferentes funcionalidades das fábricas e descreve a integração dos sistemas empresariais de controle ([PISCHING, 2018](#)).

Este eixo é baseado em uma reformulação da IEC 62264, que é a série de padrões internacionais para sistemas de TI e controle corporativos ([HANKEL; REXROTH, 2015](#)), e faz uma alusão à pirâmide da automação industrial da ISA-95.

Os níveis hierárquicos representam as diferentes funcionalidades das fábricas. Para representar o ambiente I4.0, as funcionalidades foram expandidas além da IEC 62264, que já possui os níveis “Dispositivo de controle”, “Estação de trabalho”, “Centros de trabalho” e “Empresa”.

Para a representação do ambiente I4.0, foi adicionado o nível “Produto” na posição mais inferior para descrever funcionalidades relacionadas ao produto da manufatura, o nível “Dispositivo de campo”, com considerações a nível funcional sobre dispositivos de campo inteligentes, e o nível “Mundo conectado” na posição mais superior para descrever o grupo de fábricas e a colaboração entre empresas, fornecedores de componentes, clientes, etc.

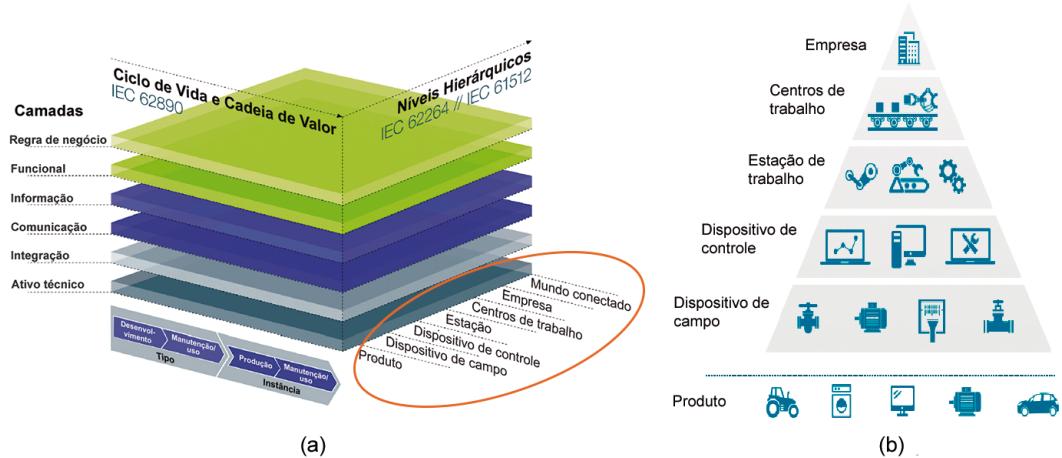


Figura 11 – (a) Representação completa do RAMI4.0 e (b) detalhamento do eixo “Níveis Hierárquicos do RAMI4.0”.

Fonte: [Gayko \(2018\)](#) (adaptado).

Dentro dos três eixos, todos os aspectos cruciais da I4.0 podem ser mapeados, permitindo que os ativos sejam classificados devidamente de acordo com o modelo. Os conceitos altamente flexíveis da I4.0 podem, assim, ser descritos e implementados usando o RAMI4.0. O modelo de arquitetura de referência permite a migração passo a passo do presente estado da indústria para o mundo da Indústria 4.0.

3.1.2 Asset Administration Shell

Um ativo é qualquer coisa que precise ser conectada para agregar valor a um processo industrial ([BADER et al., 2019](#)), ou seja, todos os itens que têm valor em um caso de uso específico. Na I4.0, isso pode ser um produto físico, uma peça de equipamento, um *software* ou documentos como plantas, contratos, pedidos, etc.

No paradigma da I4.0, cada ativo é encapsulado por uma camada (ou casca) de administração. Esta casca de administração do ativo técnico é denominada “*Asset Administration Shell*” (AAS). O AAS é a representação da parte virtual/digital de um ativo no mundo I4.0 ([Ye; Hong, 2019](#)).

Fazendo uma associação ao RAMI4.0, o AAS engloba as camadas digitais, sendo elas: Regra de Negócio, Funcional, Informação e Comunicação; parte da camada Integração também é contemplada pelo AAS, já que essa é a conexão entre o ativo e o meio virtual. Tal associação é representada pela [Figura 12](#).

O AAS consiste em vários submodelos nos quais são descritas todas as informações e funcionalidades de um determinado ativo, incluindo suas características, propriedades, condição, parâmetros, dados de medições e capacidades ([BADER et al., 2019](#)). A [Figura 13](#)

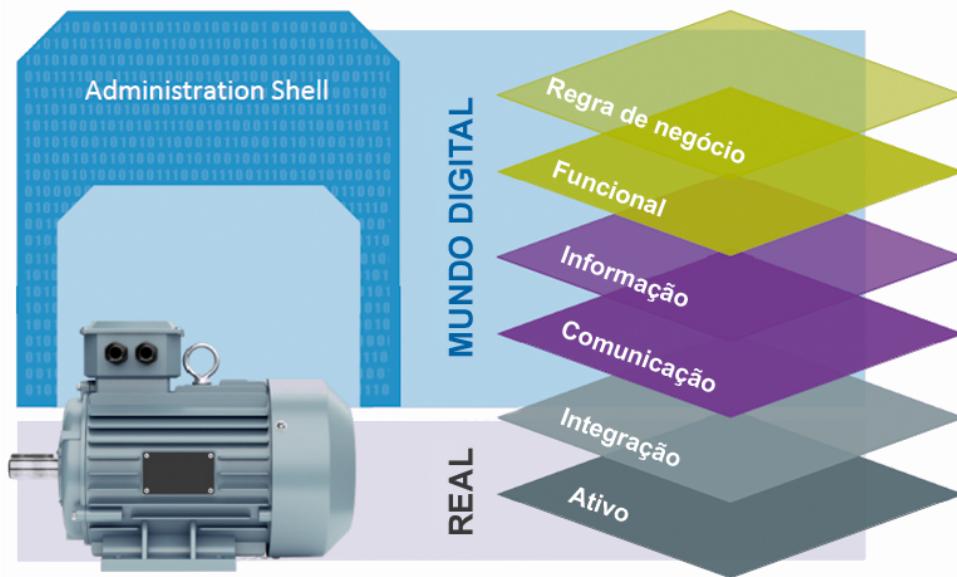


Figura 12 – Representação do AAS como a parte virtual do Componente I4.0.

Fonte: [Gayko \(2018\)](#) (adaptado).

exemplifica um AAS como sendo uma “casca” que engloba o ativo, esta casca contém informações relevantes do ativo em forma de “submodelos”.

Os submodelos são unidades básicas de organização dentro de um AAS que agregam informações semelhantes. Eles são divididos em dois tipos ([Plattform Industrie 4.0, 2019](#)): submodelos básicos e submodelos livres ([BADER et al., 2019](#)).

Os submodelos básicos são unidades de organização que se aplicam a muitos ou todos os ativos dentro do mundo I4.0. Já os submodelos livre são acertados entre os parceiros na cadeia de suprimentos e possuem um uso específico para um determinado produto.

O AAS é um elo entre os ativos reais e seus correspondentes digitais no mundo conectado. A [Figura 14](#) ilustra a comunicação entre diferentes AASs em um ambiente de manufatura I4.0 sob uma ontologia comum.

Dentro da I4.0, todos os ativos possuem um AAS com capacidade de comunicação com outros dispositivos. O conjunto Ativo-AAS, que é o objeto real encapsulado pelo *Asset Administration Shell*, é denominado “Componente I4.0”.

A integração dos ativos, representada pelos Componentes I4.0, em um nível funcional requer uma descrição padronizada das funções (ou capacidades) dos ativos em questão. A padronização de submodelos para descrever detalhadamente cada função pode ser usada para definir requisitos para a fabricação de produtos ([BEDENBENDER et al., 2017](#)). A [Figura 15](#) mostra um exemplo de detalhamento de funções de um ativo.

No ambiente de manufatura baseado na I4.0, o produto descreve os requerimentos necessários para sua fabricação e então esses requerimentos são comparados com as

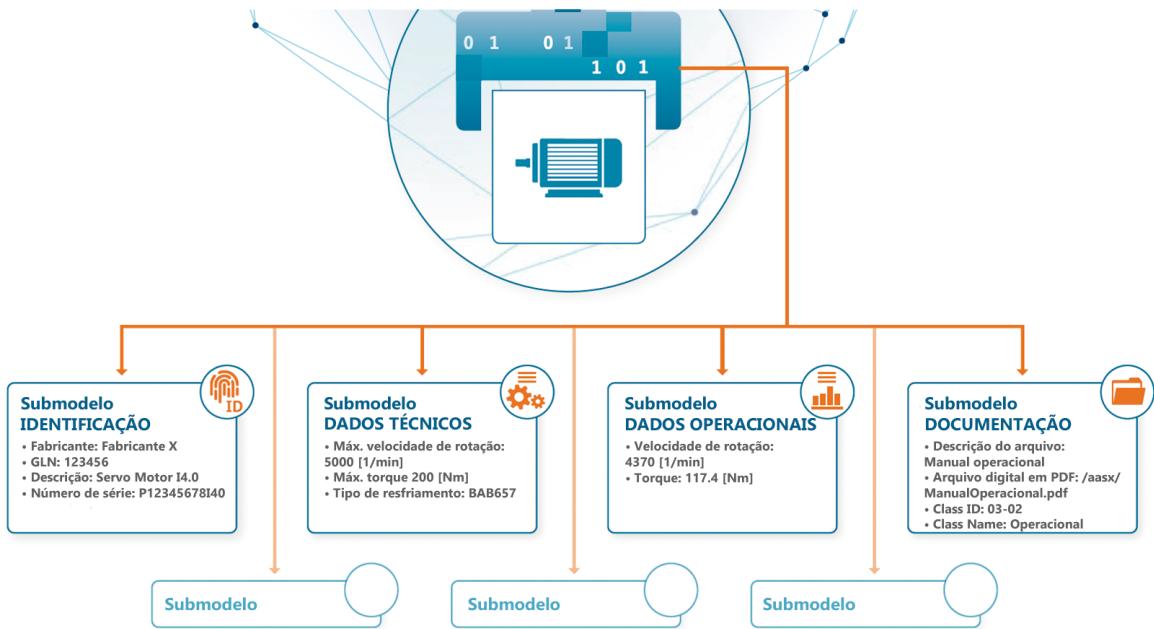


Figura 13 – Exemplificação de um AAS para um servomotor, incluindo os submodelos de identificação, dados técnicos, dados operacionais e documentação.

Fonte: Bader et al. (2019) (adaptado).

descrições das funções das máquinas disponíveis. Portanto, a seleção de um ativo é otimizada, baseando-se nos requerimentos do produto e nas descrições das funções dos ativos.

Desta forma, um Componente I4.0 representa todos os elementos necessários para a efetiva interoperabilidade entre ativos no mundo conectado, inclusive os seus próprios requisitos, suas regras de negócio, limitações técnicas e todas as demais características que se relacionem ao ativo e sua interação com o ambiente.

3.2 Logística & Cadeia de Suprimentos

A logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo de mercadorias, serviços e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo de forma eficiente e eficaz com o propósito de atender as exigências dos clientes (CSCMP, 2013). Essa definição sugere a logística como um processo, o que significa que inclui todas as atividades importantes para a disponibilização de bens e serviços aos consumidores quando e onde estes quiserem adquiri-los (BALLOU, 2006).

A logística é a essência do comércio (BALLOU, 2006), ela contribui para que pessoas não mais sejam obrigadas a viver perto das fontes de produção e possam trocar informações e mercadorias com outras regiões de forma efetiva, contribuindo decisivamente para melhorar o padrão econômico de vida geral.

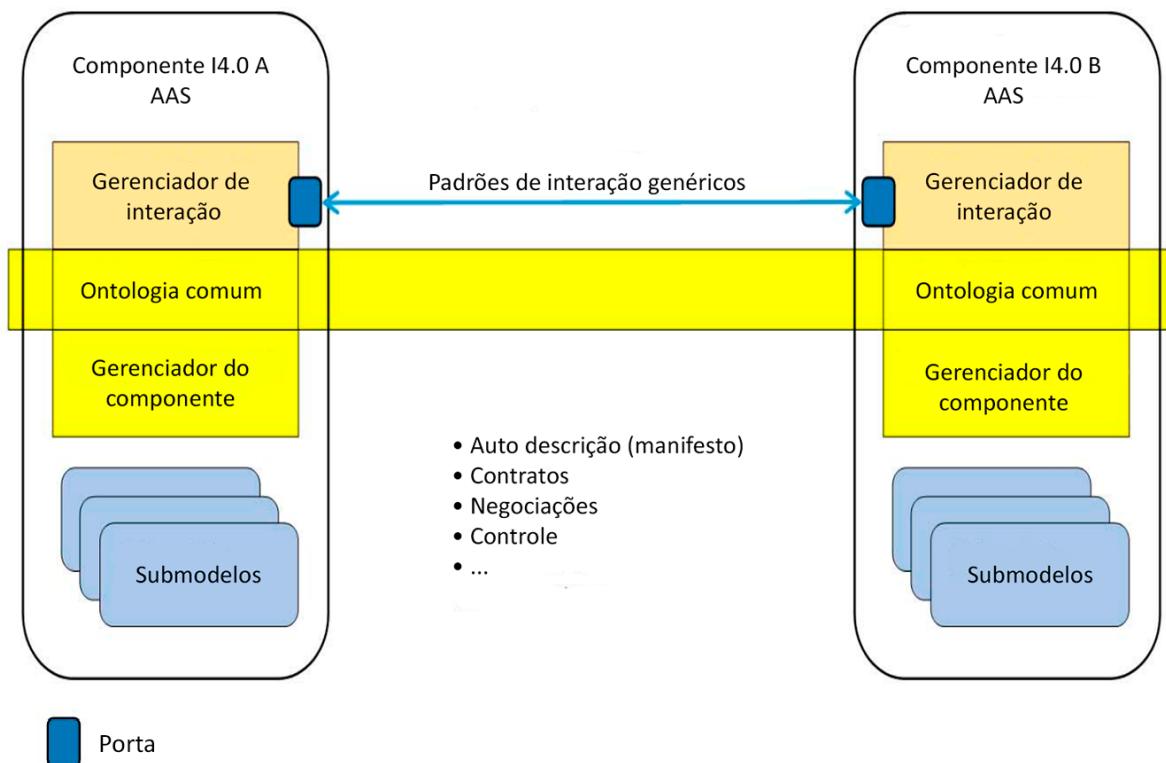


Figura 14 – Comunicação entre AASs de componentes I4.0.

Fonte: Marcon et al. (2018) (adaptado).

A logística moderna envolve primariamente o compartilhamento de dados. A logística da informação lida com o fluxo de informações entre humanos e/ou máquinas dentro ou entre organizações (HAFTOR; KAJTAZI, 2009), que se agrupam formando uma rede de criação de valor por meio de informações. A Logística da Informação é intrinsecamente relacionada a processos de gestão da informação e tecnologias de informação.

A cadeia de suprimentos (CS), por outro lado, é um conceito mais amplo. A CS é onde a logística é exercida. São as partes necessárias para dar suporte ao pedido de um cliente, desde o produtor até o consumidor final. A gestão da cadeia de suprimentos tem como alvo a orquestração de todas as partes envolvidas por meio de uma logística integrada de forma a otimizar ao máximo o processo de fornecimento de um produto, serviço ou informação.

A ideia de uma CS simples envolve fornecedor, produtor e cliente (HUGOS, 2018), porém conceitos modernos estendem a noção de uma CS, passando a incluir diversos outros fornecedores de serviços em áreas como logística, finanças, *marketing* e desenvolvimento, que, mediante coordenação e colaboração, criam oportunidades para melhoria dos custos ou serviços ao consumidor. A Figura 16 exemplifica a inter-relação das partes em uma cadeia de suprimentos estendida.

Além do eficiente fluxo de materiais e produtos dentro da CS, é imprescindível a

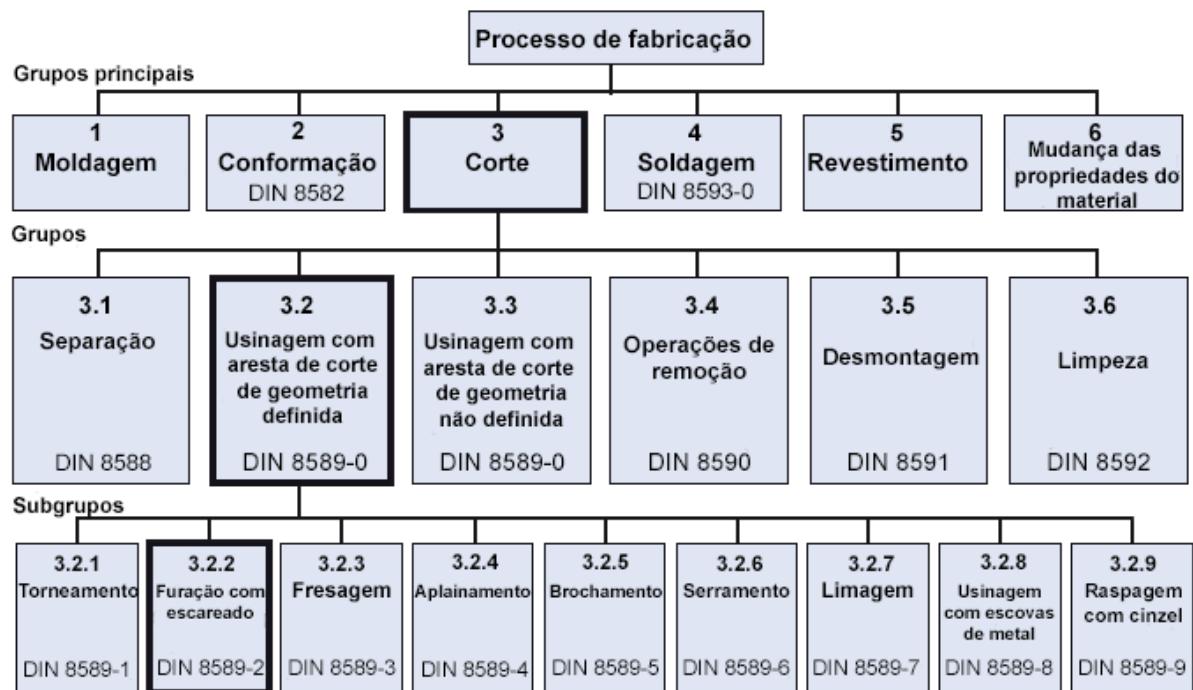


Figura 15 – Detalhamento de funções no AAS por meio de submodelos.

Fonte: Bedenbender et al. (2017) (adaptado).

manutenção de um canal para troca de informações entre as partes em uma CS, pois sem uma adequada comunicação, gerentes podem accidentalmente tomar decisões supostamente racionais, porém que afetam negativamente outros líderes da cadeia, como o efeito chicote (LEE; PADMANABHAN; WHANG, 1997), que é a distorção da percepção da procura de um produto que vai se ampliando ao longo da cadeia de suprimentos. Erros de comunicação desse tipo podem acarretar problemas como o aumento do custo de transporte, o elevado tempo de aprovisionamento ao cliente e o desgaste no relacionamento com os fornecedores.

Ao longo da cadeia de suprimentos pode-se observar processos que agregam valor ao produto em desenvolvimento. As etapas de transformação do produto com adição de valor ao longo da CS também podem ser definidas como Cadeia de Valor (CV).

Uma CV é um conjunto de atividades que empresas de um setor específico desempenham a fim de entregar um produto ou serviço que tenha algum valor perceptível para o mercado (PORTER, 1985). A ideia da CV é baseada na agregação de valor ao produto a cada processo de transformação ocorrido, processo esse que envolve a aquisição e consumo de recursos (mão de obra, materiais, equipamentos, instalações, administração, etc). Porter (1985) classifica a CV em duas categorias de atividades que agregam valor ao produto: as atividades primárias e as atividades de apoio (vide Figura 17).

As CVs estão focadas em fornecer o máximo valor ao cliente (valor perceptível) com o menor custo e, portanto, é um indicador para a competitividade da empresa. Com o

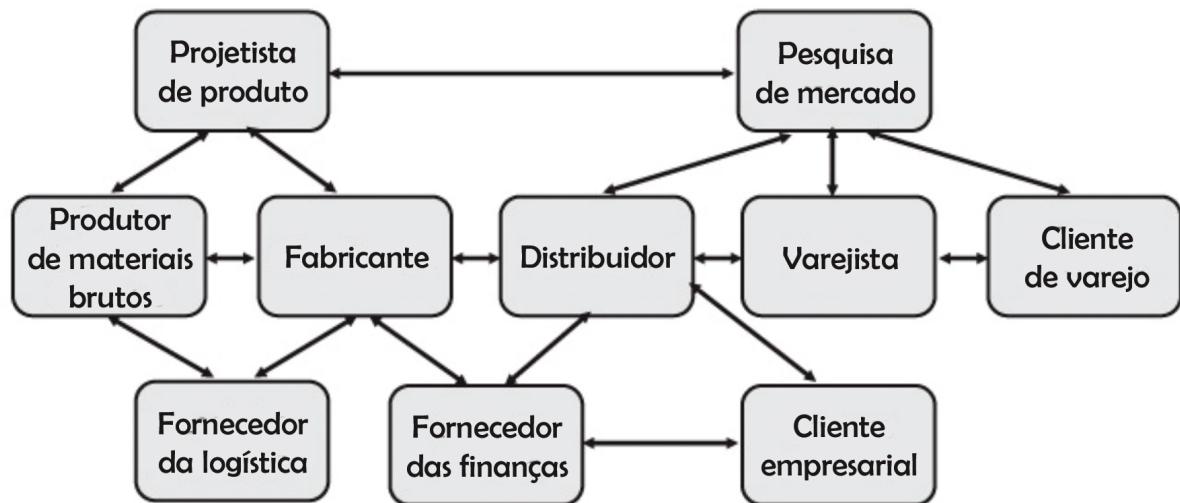


Figura 16 – Exemplo de cadeia de suprimentos estendida.

Fonte: [Hugos \(2018\)](#) (adaptado).

crescente acirramento da competição entre as empresas, essas devem procurar novas formas de agregar mais valor perceptível aos seus produtos, sendo isto em forma de redução de preço, aumento de qualidade, suporte ou qualquer outra nova funcionalidade.

Outra forma de agregação de valor está no princípio de valor compartilhado, que

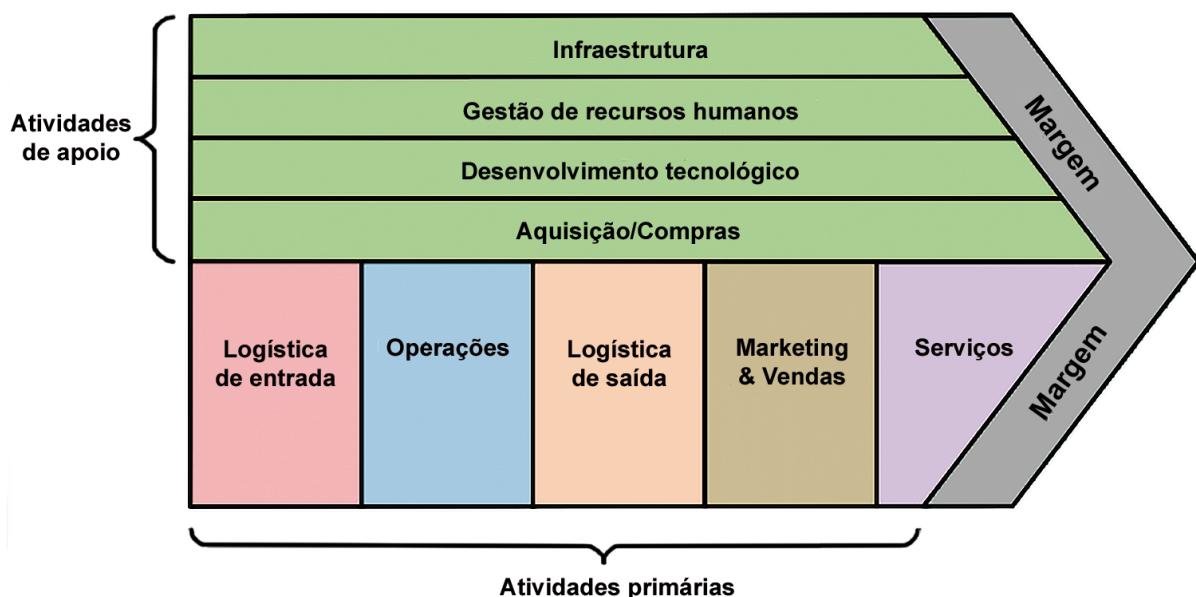


Figura 17 – Cadeia de valor de Porter.

Fonte: [Porter \(1985\)](#) (adaptado).

envolve a geração de valor econômico de forma a criar também valor para a sociedade como um todo (PORTER; KRAMER, 2011) com o enfrentamento de suas necessidades e desafios. Esta necessidade de valor compartilhado parte da percepção generalizada de que empresas prosperam às custas da depreciação da comunidade que as cercam. Soluções que visem o aumento das condições de trabalho, a maior racionalidade e eficiência no tratamento dos recursos naturais necessários para sua atividade e outras formas de balancear o *trade-off* entre eficiência econômica e progresso social são estratégias para se recuperar a legitimidade e a percepção de valor pela sociedade da atividade empresarial.

3.2.1 Logística 4.0

Com o entusiasmo acadêmico sobre o tema Indústria 4.0 surgido a partir de 2011, diversas novas linhas de pesquisa derivaram do conceito de I4.0. Uma dessas vertentes é relacionada aos novos desafios tecnológicos na logística e por vezes é denominada “Logística 4.0”. Estes novos desafios tecnológicos são relacionados primariamente ao intenso uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e de Internet das Coisas Industrial (IIoT) (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017).

A inserção dessas novas tecnologias ao escopo de estudo da logística acarreta em novos desafios como a alta necessidade de transparência dos processos (visibilidade ao longo da cadeia de suprimentos) e o controle de integridade (produtos certos, no tempo, lugar, quantidade, condição e preço certos) (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017).

As cadeias de suprimentos atuais podem ser extremamente grandes e complexas (alta interdependência entre as partes) e, portanto, sem uma correta gestão, podem levar à tomada de decisões não ótimas por parte dos gestores humanos. Por esses aspectos, este setor pode ser um dos primeiros a se adaptar a esta nova forma de organização da Indústria 4.0 (ou da Logística 4.0), tornando os processos cada vez mais automatizados a fim de se atender os novos requisitos da sociedade moderna.

Dentro da CS, identificadores individuais podem ser usados a fim de se implementar a conectividade de objetos e informações requeridos no contexto da I4.0.

A tecnologia de RFID (*Radio-Frequency IDentification*) permite criar uma identificação única para um objeto, onde a etiqueta RFID é um pequeno *chip* que pode ser acoplado e incorporado a um produto e assim armazena um código de identificação único, assim como outras informações relevantes, que podem ser transmitidas sem fio via rádiofrequência. O RFID se mostra como uma alternativa ao tradicional código de barras e o *QR code*. A utilização de identificadores individuais é comum para aplicação de conceitos da I4.0 (ALYAHYA; WANG; BENNETT, 2016; VLACHOS, 2014; FAN et al., 2015; BIBI et al., 2017), pois permite a identificação de cada coisa na rede e possibilita a troca de informações autônomas.

A Logística 4.0, portanto, estabelece uma série de paradigmas que empresas atuando no ramo logístico deverão seguir nos próximos anos para se manterem competitivas.

Conceitos de operação como o intercâmbio de informações instantâneas, soluções automatizadas e análise de dados em tempo real abrem caminhos para novos modelos de negócios ([STRANDHAGEN et al., 2017](#)), que se tornarão essenciais na eficiência em logística moderna.

3.3 Ciclo de vida do produto

O conceito de ciclo de vida do produto foi elaborado em meados da década de 1960 com o propósito de criar um modelo que fosse capaz de explicar o sucesso ou fracasso de um produto introduzido no mercado, sendo capaz também de identificar momentos certos para modificar estratégias de preço, fabricação e quando o produto deve ser descontinuado ([CAO; FOLAN, 2012](#)). O modelo inicialmente desenvolvido por [Levitt \(1965\)](#) mostra o padrão de produtos na história passando por quatro estágios bem definidos: desenvolvimento de mercado, crescimento, maturidade e declínio, conforme observado na [Figura 18](#).

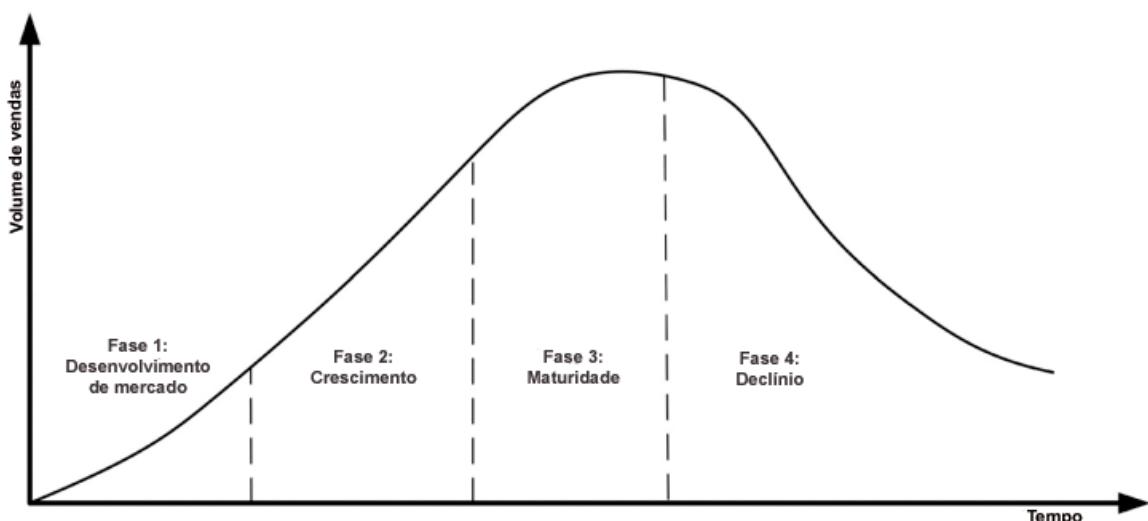


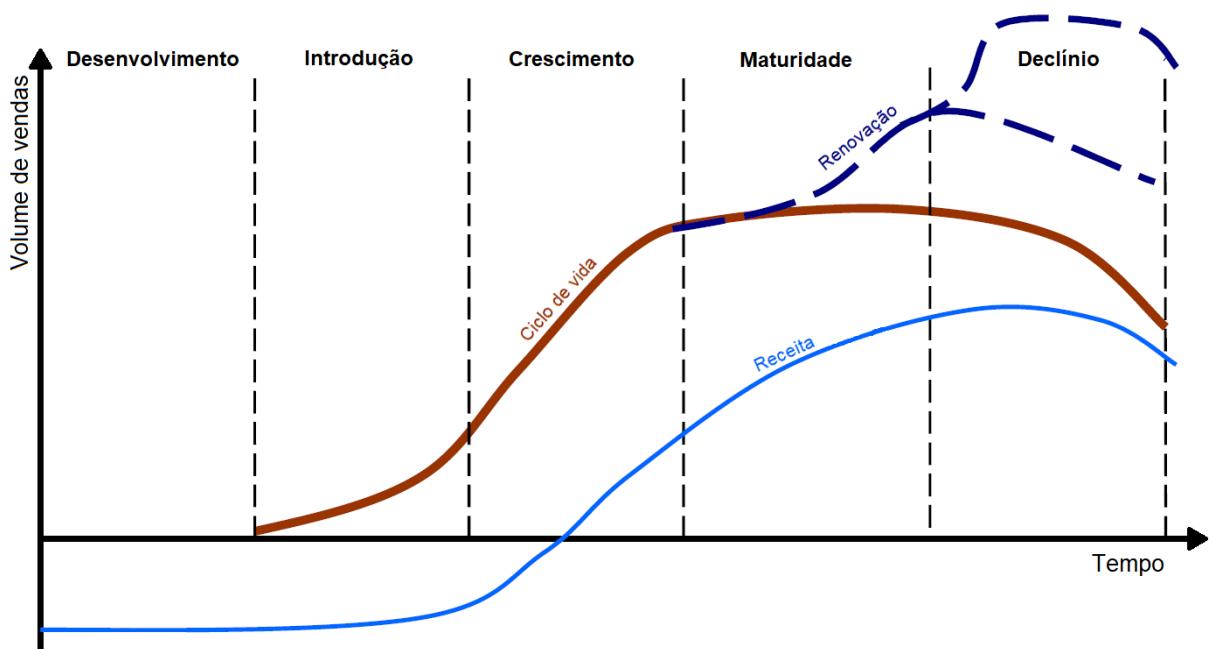
Figura 18 – Estágios do ciclo de vida do produto.

Fonte: [Levitt \(1965\)](#) (adaptado).

Vista a tendência global de redução do ciclo de vida do produto devida a rápida taxa de introdução de novas tecnologias para satisfazer a demanda dos clientes, especialmente no mercado de produtos eletrônicos ([TRAPPEY; WU, 2008](#)), novas versões de modelos de ciclo de vida do produto vêm sendo elaboradas considerando outros aspectos de mercado e não somente sob a visão da área de *Marketing*. Por vezes, estudos recentes envolvendo ciclo de vida são denominados “engenharia do ciclo de vida do produto” (E-CVP) ([CAO; FOLAN, 2012](#)) e levam em consideração fatores não abordados nos modelos originais como, por exemplo, a fase de pesquisa e desenvolvimento, a retroalimentação de dados, assim

como o descarte e reciclagem do produto. Sempre tendo como objetivo auxiliar na tomada de decisões para o sucesso de um produto no mercado.

A [Figura 19](#) mostra um modelo de ciclo de vida do produto com elementos que incluem a fase de desenvolvimento e a renovação do produto. A renovação do produto e a decorrente extensão de sua vida é essencial, pois mantém o produto no mercado na forma de novas versões e, assim, amplia as receitas mediante ações estratégicas para agregação de valor. O modelo do ciclo de vida e os elementos presentes sempre irão variar conforme a natureza do produto e tipo de mercado consumidor onde o mesmo está inserido.



[Figura 19 – Modelo de ciclo de vida do produto com renovação do produto.](#)

Fonte: [Liu \(2010\)](#) (adaptado).

A gestão do ciclo de vida do produto (GCVP) refere-se ao gerenciamento de um ativo ao longo dos estágios típicos de sua vida útil (vide [Figura 18](#)). Esta gestão dentro dos estágios mencionados pode se referir, por exemplo, à fabricação, comercialização, uso ou qualquer outra fase do ciclo de vida em que o produto se encontra.

A GCVP tem como finalidade auxiliar gestores na tomada de decisões de negócios por meio de estratégias como políticas de preços, expansão de mercado, retirada do produto ou inserção de novas versões, etc. A função da GCVP não é gerenciar apenas um produto, mas gerenciar de maneira integrada todas as partes, assim como o portfólio de produtos da empresa ([STARK, 2015](#)).

Em nível mais alto, o objetivo do GCVP é aumentar as receitas do produto, reduzir os seus custos relacionados, maximizar o valor do portfólio e maximizar o valor dos produtos atuais e futuros para clientes e acionistas ([STARK, 2015](#)).

Mais recentemente, novas propostas de modificações de processos industriais por meio da GCVP aparecem como formas de se agregar mais valor ao produto/serviço considerando os ciclos de vida do produto cada vez mais curtos. A Indústria 4.0 e a Logística 4.0 surgem com novas formas de abordagem da gestão do ciclo de vida do produto, considerando as mais novas necessidades do produto e de seus respectivos consumidores.

3.4 Memória digital do produto

O termo “Memória Digital do Produto” (MDP) surgiu pela primeira vez em 2007 por meio de um boletim de notícias de tecnologia de uma empresa alemã fabricante de conectores elétricos e eletrônicos ([WAHLSTER, 2007](#)). À época, o termo foi tratado com analogia a um diário, que mantinha todas as informações do produto ao longo de seu ciclo de vida.

Hoje, o conceito na literatura se refere a sistemas que permitem a coleta de dados em todas as fases do ciclo de vida do produto para a distribuição e/ou análise. Os dados de interesse do produto podem ser relativos a qualquer fase do produto ao longo de sua cadeia de suprimentos, o que abrange dados de produção individual, de montagem, de distribuição, de uso por parte do consumidor, etc. A [Figura 20](#) ilustra o conceito de MDP.

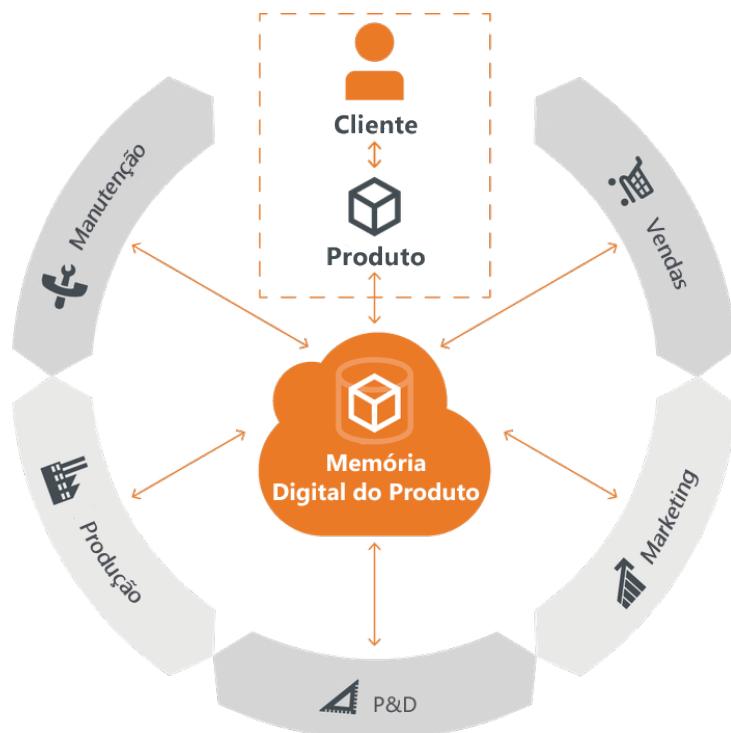


Figura 20 – Coleta de dados do produto ao longo da cadeia de valores.

Fonte: [Zühlke \(2020\)](#) (adaptado).

Sua relevância está no fato da tendência de produtos novos apresentarem ciclos de vida cada vez mais curtos e devido ao fato das cadeias de suprimentos apresentarem redes cada vez mais complexas, com múltiplos fornecedores e clientes. Com isso, a MDP manteria registros digitais do ciclo de vida dos produtos, faria o monitoramento constante do seu estado atual e realizaria o rastreamento de sua posição. Segundo [Wahlster \(2007\)](#), o acesso a essas informações pelas partes interessadas seria de vital importância na competitividade de empresas produtoras e de comércio, além de abrir novas proteções em relação à pirataria.

Os produtos que são produzidos no cenário de Indústria 4.0 podem ser equipados com a MDP e por meio dela extrair e armazenar informações relevantes de eventos ocorridos ao longo do ciclo de vida do produto a fim de fornecer serviços a todo o ambiente com o qual o produto se relaciona ([BRANDHERM; KRONER, 2011](#)). A MDP fornece também uma forma de rastreabilidade, uma vez que pode armazenar informações geoespaciais do ativo ao longo do tempo.

Implementações de uma memória com informações sobre produto ao longo de sua cadeia de suprimentos é importante, pois torna possível acessar e utilizar informações do mundo real providenciada por diferentes fontes para o potencial benefício das partes interessadas naquele produto ([BRANDHERM; KRONER, 2011](#)), como, por exemplo, fabricantes, transportadores, varejistas e consumidores. E também no pós-venda, onde a MDP continua a ser disponibilizada e ativa, dando a possibilidade ao consumidor de ainda manter contato com cada elo da cadeia de suprimentos e se beneficiar de serviços individuais que se acumulam na memória ([BRANDHERM; KRONER, 2011](#)).

3.5 Arquitetura orientada a serviços

Arquitetura Orientada a Serviços (*Service Oriented Architecture - SOA*) é um estilo de projeto de *software* em que serviços são disponibilizados a outros sistemas por meio de um protocolo de comunicação comum em uma rede ([BELL, 2008](#)). Um serviço é uma unidade de funcionalidade que pode ser fornecida/acessada remotamente. A SOA se destina a ser independente de fornecedores, produtos e tecnologias.

Para quem consome um serviço, a abordagem é como uma caixa preta, o que significa que o consumidor não sabe ou não precisa estar ciente do funcionamento interno deste serviço, sendo relevante apenas o seu resultado. Os serviços representam uma lógica de fornecimento de resultados. É uma abstração de problemas, ou seja, toda a complexidade interna inerente aos serviços pode ser abstraída pelos consumidores dos serviços.

Dentro do mundo da Indústria 4.0 e de sistemas produtivos, a SOA é uma abordagem que traz novas perspectivas uma vez que se estabelece um conjunto de princípios para uma arquitetura de sistema autônomo e interoperável ([CÂNDIDO et al., 2009](#)), que tem por objetivo aumentar a eficiência, agilidade e produtividade de um sistema por meio da adoção generalizada do conceito de serviços ([SOUT, 2013](#)).

Os serviços dentro do ambiente de manufatura encapsulam as funcionalidades necessárias, ocultando todas as heterogeneidades das partes do sistema, permitindo, desta forma, características de flexibilidade, confiabilidade e fácil implementação de soluções (GROBA et al., 2008).

A SOA dentro do meio industrial permite que um sistema atue como *middleware*, ou seja, uma camada ou componente de *software* que integra os diferentes aplicativos em um sistema. A Figura 21 ilustra como se dá a interconexão entre os elementos do sistema com e sem um *middleware*.

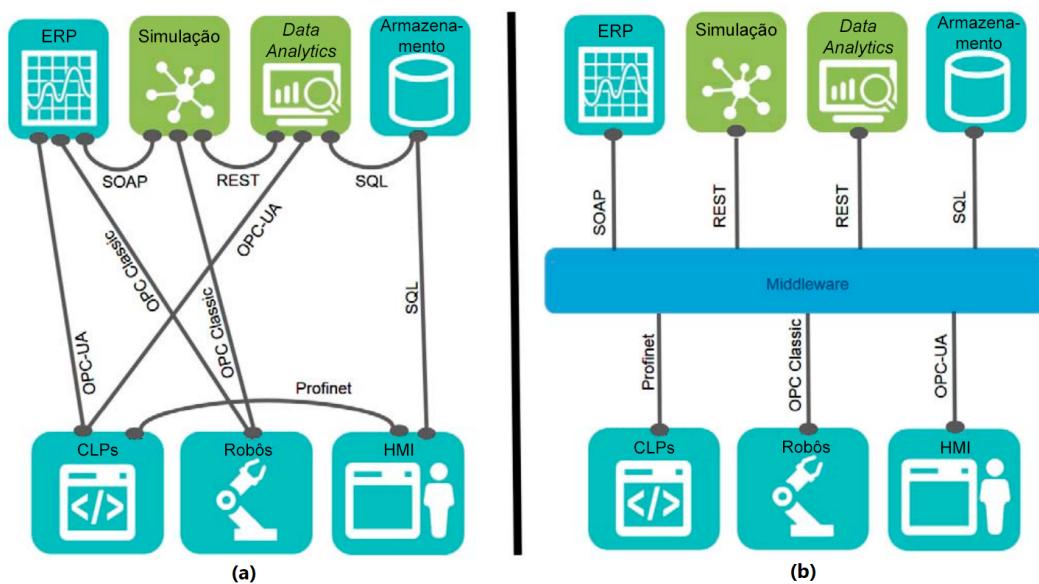


Figura 21 – Interconexão entre os elementos do sistema (a) sem um *middleware* e (b) com um *middleware*.

Fonte: Gosewehr et al. (2017) (adaptado).

SOA está relacionada à ideia de uma Interface de Programação de Aplicação (*Application Programming Interface - API*), que é o conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um *software* para a utilização das suas funcionalidades por aplicativos externos.

Para se disponibilizar um serviço por meio de uma API, o conceito de *Web Services* (WS) é vastamente utilizado (SOUIT, 2013). Os WSs podem ser vistos como um conceito padrão para facilitar a interoperabilidade, integração e reuso dos componentes de aplicações.

3.5.1 Web Services

Um *Web Service* (WS) é uma interface que descreve uma série de operações acessíveis por meio de uma linguagem de descrição de serviços padronizada (GOTTSCHALK et al., 2002). Um WS executa uma tarefa específica ou um conjunto de tarefas e retorna ao usuário o resultado da operação. Cada aplicação pode ter a sua própria linguagem, que é traduzida para uma linguagem comum, como um XML, JSON, CSV, etc.

Por meio de WSs, as aplicações podem ser descritas, publicadas, localizadas e invocadas em uma rede de comunicação tipo WWW (*World Wide Web*) (SOUT, 2013).

A arquitetura de um WS é constituída por três atores básicos: o provedor de serviços, o repositório de serviços e o solicitante de serviços; e por três operações básicas: a publicação, a procura e a interação (GOTTSCHALK et al., 2002). A Figura 22 ilustra os atores e a interação entre eles por meio das operações.

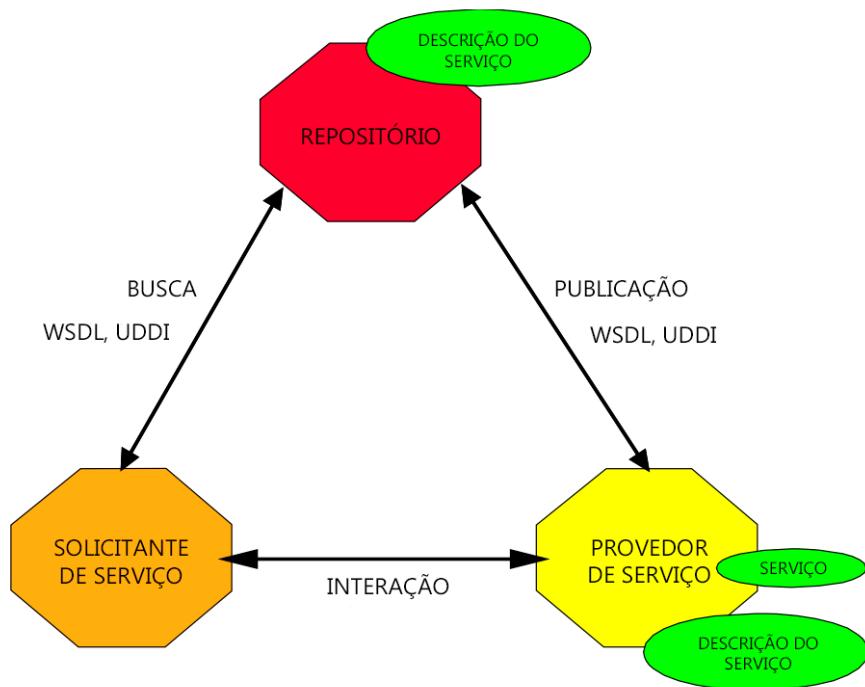


Figura 22 – Componentes de um WS e operações.

Fonte: Kreger et al. (2001) (adaptado).

Detalhadamente, os atores em um WS são:

- **Provedor de serviços:** Representa a plataforma que hospeda e fornece um determinado serviço, esta plataforma permite que clientes solicitem serviços e recebam suas respectivas respostas. O provedor de serviços é responsável também por fornecer uma descrição sobre o serviço prestado e publicar esta descrição em um repositório acessível pelo solicitante.
- **Repositório de serviços:** É uma plataforma acessível com a função de armazenar e fornecer a descrição sobre diversos WSs. Os WSs são descobertos pelo solicitante por meio do repositório para que assim possa decidir o serviço que melhor o atenda.
- **Solicitante de serviços:** É o ator que necessita de um determinado serviço e requisita a sua execução. O solicitante de serviço pode ser uma pessoa acessando um navegador ou uma aplicação realizando solicitações por meio de APIs.

Já as operações básicas em WS em detalhe são:

- **Publicação:** Publicação da descrição do serviço pelo provedor em um repositório para que o serviço se torne acessível ao público e os solicitantes possam localizá-lo.
- **Busca:** Busca e recebimento da descrição de um serviço. O solicitante pode receber a descrição do serviço pelo provedor ou por meio do repositório.
- **Interação:** Comunicação direta entre solicitante e provedor para o fornecimento de serviços. Nesta fase, o solicitante se decide por um determinado serviço dentre os disponíveis no repositório e inicia uma interação com o provedor por meio de uma API.

As etapas de interação entre as entidades são representadas por meio de diagrama UML na [Figura 23](#).

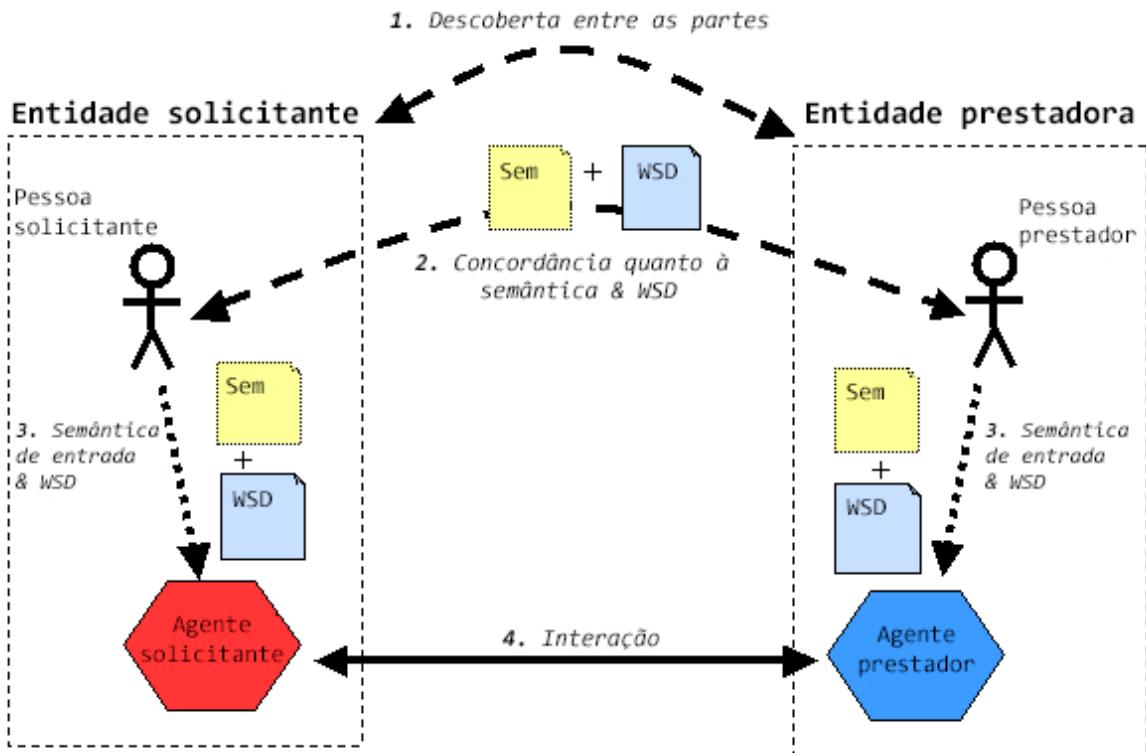


Figura 23 – Diagrama UML com os atores e interações em um WS.

Fonte: [Booth et al. \(2004\)](#) (adaptado).

Neste diagrama a Semântica e a Descrição do Web Service (*Web Service Description* – WSD) representam os documentos com os quais ambas as partes devem concordar para que haja o efetivo fornecimento e consumo do serviço.

O WSD define os formatos de mensagem, tipos de dados, protocolos de transporte e formatos de troca de dados que devem ser usados entre o solicitante e o provedor ([BOOTH](#)

et al., 2004). O WSD representa um acordo que rege a mecânica de interação com esse serviço.

Já a Semântica de um WS é o documento que compartilha o comportamento esperado de resposta deste serviço, pode ser explícito ou implícito, oral ou escrito, processável por máquina ou orientado a humanos, e pode ser um acordo legal ou um acordo informal (BOOTH et al., 2004).

Os WSs se tornaram bastante atrativos, pois esse modelo pode ser aplicado com tecnologias acessíveis ao solicitante, em particular XML e HTTP, que podem ser acessadas pela maioria dos navegadores convencionais. A disponibilização de serviços interativos na *Internet* se tornou muito popular e com isso surgem novos modelos de negócios como o SaaS (*Software as a Service*), PaaS (*Platform as a Service*), IaaS (*Infrastructure as a Service*), etc.

Dentro do mundo da Indústria 4.0 não é diferente. Ativos podem publicar suas funcionalidades em repositórios e executarem determinadas tarefas mediante solicitação por parte do solicitante, podendo assim serem classificados como uma manufatura como um serviço (*Manufacturing as a Service*) (ANNUNZIATA, 2019; NICHOLS, 2019; SIEPEN, 2019).

3.5.2 Transferência Representacional de Estado

A Transferência Representacional de Estado (*Representational State Transfer - REST*) é uma arquitetura de *software* que define padrões para acesso e disponibilização de *Web Services* (WSs). Os WSs que seguem o padrão REST são denominados *RESTful Services*. Este estilo de arquitetura de sistemas distribuídos foi apresentado pela primeira em Fielding (2000) .

A arquitetura REST possibilita a interoperabilidade entre sistemas na *Internet*, pois permite que os sistemas solicitantes acessem e manipulem representações textuais de recursos usando um conjunto uniforme e predefinido de operações sem estado (FERRIS, 2004).

O padrão REST, mais moderno, veio gradualmente substituindo o padrão SOAP, mais antigo, e hoje é a forma mais comum de compartilhamento de informações por meio de *web services*. Apesar de ambos os padrões serem baseados no HTTP e HTTPS, o padrão REST geralmente contém um *payload* de mensagem mais leve por tratar dados no formato JSON, ao contrário do padrão SOAP que utiliza o formato XML.

A arquitetura REST estabelece as orientações e boas práticas de uma interface que devem ser satisfeitas para que possa ser referida como um serviço RESTful. Esses princípios são (FIELDING, 2000):

1. **Cliente-Servidor:** segregação das interfaces dos usuários das interfaces do banco de dados. Desta forma, padroniza-se a interface para a interação com um banco de

dados, trazendo mais portabilidade e flexibilidade aos sistemas e melhorando a sua escalabilidade.

2. **Sem estado:** cada solicitação do cliente ao servidor deve conter todas as informações necessárias para o servidor processar a solicitação. Desta forma, a solicitação não pode depender que qualquer tipo de contexto a ser armazenado no servidor, o estado da sessão é mantido inteiramente no cliente.
3. **Cache:** a resposta para as solicitações podem ser armazenadas em uma memória *cache*. Quando a resposta puder ser armazenada em *cache*, o cliente poderá reutilizar a resposta já recebida anteriormente e evitar de se realizar uma nova requisição.
4. **Interface uniforme:** As interfaces são padronizada entre os sistemas que se comunicam por meio de um serviço REST. É definido para os serviços REST quatro restrições de interface: identificação de recursos, manipulação de recursos por meio de representações; mensagens auto descritivas e hipermídia como forma de interação com a aplicação.
5. **Sistema em camadas:** o estilo de sistema em camadas introduz camadas hierárquicas ao sistema, restringindo, assim, o comportamento do componente de forma que cada componente possa ter acesso somente à camada imediata com a qual está interagindo.
6. **Código sob demanda** (opcional): permite com que as funcionalidades do cliente sejam estendidas ao baixar e executar um script na forma de *scripts* sob demanda, reduzindo assim o número de funcionalidades necessárias a serem implementadas de antemão.

O principal item de manipulação relacionado a um serviço REST é um recurso. Um recurso é qualquer informação a ser manipulada: documento, imagem, uma coleção de objetos, etc. Os serviços REST utilizam um identificador único de um recurso como forma de o referenciar em consultas. Exemplo de recursos incluem um usuário, uma foto, um pedido, etc. Já as coleções são um conjunto de recursos de uma mesma categoria, como por exemplo uma lista de usuários cadastrados, a lista de comentários em uma publicação, etc.

Cada método do protocolo HTTP recebe um tipo de operação padrão do REST. A [Tabela 3](#) mostra as possíveis operações e seus métodos HTTP correspondentes, quando este protocolo é utilizado.

Método	Escopo	Semântica
GET	Coleção	Retorna todos os recursos em uma coleção.
GET	Recurso	Retorna um único recurso.
POST	Coleção	Cria um novo recurso em uma coleção.
PUT	Recurso	Atualiza um recurso completamente.
PATCH	Recurso	Atualiza um recurso parcialmente.
PATCH	Recurso	Atualiza um recurso parcialmente.
DELETE	Recurso	Exclui um recurso da base de dados.
OPTIONS	Recurso	Retorna os métodos HTTPS disponíveis e outras opções.

Tabela 3 – Mapeamento dos métodos HTTP em um *RESTful Service*.

Fonte: [Fielding e Taylor \(2000\)](#) (adaptado).

3.6 Modelagem de sistemas

Sistema é um conjunto de elementos interdependentes de modo a formar um todo organizado. Também pode ser entendido como um conjunto de órgãos funcionais, componentes, entidades, partes ou elementos e as relações entre eles, com um objetivo geral a ser atingido ([MÜLBERT; AYRES, 2005](#)).

No contexto da Logística 4.0, um sistema pode ser definido como o conjunto de diferentes cadeias de suprimentos ligadas por meio de relacionamentos interorganizacionais, que fazem acontecer os fluxos envolvidos (de dinheiro, materiais, bens e informações) ([OLIVEIRA; LIMA; MONTEVECHI, 2016](#)).

As técnicas de modelagem e análise dos sistemas na cadeia de suprimentos são meios para melhorar a eficiência da cadeia como um todo. A utilização destas técnica auxiliam no entendimento sobre o comportamento do sistema e dos relacionamentos entre seus componentes. Auxiliam também na reprodução e análise de diferentes cenários e soluções, na previsibilidade de possíveis perturbações de mercado e na melhoria nos processos de distribuição.

Com a intensificação da globalização é cada vez mais comum a criação de cadeias de suprimentos complexas, envolvendo várias organizações dispersas geograficamente. Por isso, as ferramentas de suporte à tomada de decisões podem auxiliar no sentido de fornecer soluções mais adequada à dinâmica de diversas CSs. A modelagem é uma das formas de auxílio à tomada de decisões e pode ser uma ferramenta útil para se entender as interações

e melhorar o desempenho da CS (OLIVEIRA; LIMA; MONTEVECHI, 2016).

Um desafio para o desenvolvimento de bons modelos nessa área é a adoção de metodologias claras que possam facilitar e agilizar o processo de se realizar a modelagem e a análise de aspectos da cadeia de suprimentos. Uma metodologia apresenta apenas um direcionamento sobre os procedimentos a serem tomados a fim de se atingir um objetivo, porém cada problema a ser analisado requer especificações diferentes, o que demanda adaptações dos procedimentos originais.

Miyagi (1996) define os sistemas feitos pelo homem (*man-made systems*) como sistemas de manufatura, transporte, comunicação, redes de computadores, etc. Estes sistemas seriam caracterizados por uma dinâmica decorrente da ocorrência de eventos e, portanto, são classificados como Sistemas a Eventos Discretos (SED). Um SED é, portanto, uma classificação de sistemas de acordo com seu comportamento, determinado pela ocorrência de eventos que alteram de forma discreta e instantânea o estado do sistema.

Para a modelagem de SEDs, a aplicação de ferramentas como a Rede de Petri e suas variações como *Production Flow Schema* (PFS) e *Mark Flow Graph* (MFG) são formas de auxílio no desenvolvimento de sistemas de controle e automação.

A utilização da técnica de PFS no contexto da I4.0 pode auxiliar no mapeamento das operações e interações entre os elementos do sistema, uma vez que a dinâmica de interação pode ser classificada com um SED. Neste trabalho o PFS é utilizado a fim de se indicar as atividades relativas à cadeia de valor de um produto e as mapear para dentro das camadas do RAMI4.0.

3.6.1 Production Flow Schema

O PFS (*Production Flow Schema*) é uma técnica indicada para aplicação em diferentes níveis de modelagem, análise e controle de SEDs (MIYAGI, 1996).

No PFS, os eventos são indicações de determinadas atividades, que por sua vez podem incluir vários outros eventos e estados organizados hierarquicamente.

Por meio de modelos em PFS, é possível especificar uma estrutura de arquitetura, indicando assim as interações entre os componentes de um sistema. Além disso, com o PFS, os fluxos das operações podem ser descritos de forma desacoplada de qualquer tecnologia necessária para a implementação do sistema (PISCHING et al., 2018a).

Em um PFS deve haver a representação dos eventos discretos. Portanto, qualquer processo produtivo representado em PFS apresentará os seguintes elementos estruturais:

- Atividades: representação dos componentes ativos;
- Distribuidores: representação dos componentes passivos;
- Arcos orientados: representação das relações entre os componentes ativos e passivos.

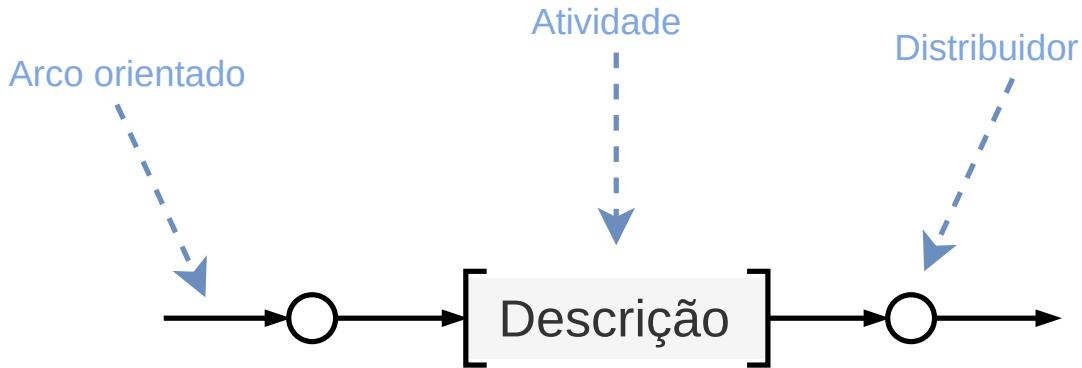


Figura 24 – Elementos do PFS.

Fonte: Pisching et al. (2018b) (adaptado).

A Figura 24 descreve os elementos do PFS e sua representação gráfica.

A atividade corresponde à realização de certas unidades ou conjuntos de operações, como um processamento, uma montagem, desmontagem, etc. Os distribuidores correspondem aos lugares de entrada e saída de itens. Já os arcos orientados indicam a direção dos fluxos e a relação entre os elementos do sistema.

Os arcos conectando à parte externa das atividades (horizontalmente) indicam um fluxo principal (primário); já os arcos conectando a parte interna da atividade (verticalmente) indicam um fluxo secundário (MIYAGI, 1996).

Um terceiro tipo de fluxo é usado para representar a integração entre interfaces das atividades e é indicado por meio de um arco conectando diretamente duas atividades. O arco indicador de interação de fluxo é usado para modelar interações entre diferentes níveis, como operações de solicitação e resposta (PISCHING et al., 2018b).

Os tipos de fluxo na representação em PFS é mostrada na Figura 25.

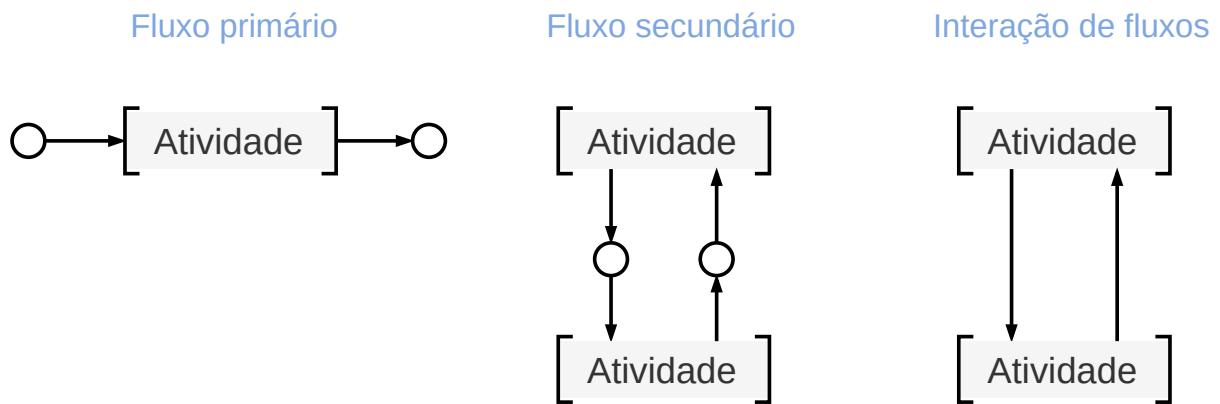


Figura 25 – Tipos de fluxo no PFS.

Fonte: Pisching et al. (2018b) (adaptado).

Os fluxos de processo do sistema em PFS são modelados por meio de uma abordagem *top-down*, assim os resultados podem ser refinados sucessivamente detalhando-se a cada iteração a atividade representada. A modelagem do sistema em PFS, portanto, parte de um alto nível de abstração, seguido de sucessivos refinamentos, detalhando o modelo a cada nível.

Desta forma, o PFS representa uma linguagem de alto nível independente de tecnologias e fabricantes para modelar os processos do sistema. A relevância de se adotar uma linguagem natural, como o PFS, para a representação de sistemas está na padronização da comunicação com especialistas de diferentes áreas, como arquitetos, engenheiros e desenhistas. Assim, há uma efetiva comunicação sobre a interação entre as partes de um sistema e sobre os fluxo de elementos e operações em diferentes níveis do sistema em análise, como, por exemplo, produtos, ordens de serviço, máquinas, informações de sensores, etc.

4 Arquitetura para compartilhamento de informações do ativo

A elaboração de uma arquitetura comum para o compartilhamento de informações de um ativo é essencial para que haja consistência e interoperabilidade entre os membros da Cadeia de Suprimentos (CS) adotando este sistema.

Este capítulo tem o objetivo de apresentar detalhes da arquitetura proposta baseada em *Web Services* (WS) nos modelos de uma arquitetura orientada a serviços (SOA) compatível com Componentes I4.0 para o compartilhamento de informações do ativo ao longo da CS. A fim de simplificação do texto, os *Web Services* serão mencionados apenas como “serviços”.

Neste capítulo é apresentado também o mapeamento dos componentes desta arquitetura dentro do eixo camadas do RAMI4.0.

4.1 Componentes e operações dos serviços de AASs

Os serviços no escopo desta arquitetura são representações das funcionalidades dos Componentes I4.0 e são fornecidos e consumidos entre *Asset Administration Shells* (AAS), ou, de forma mais geral, entre os Componentes I4.0 (C4.0), que engloba o AAS.

A lógica de fornecimento e consumo de serviços proposta para a I4.0 segue os moldes de um *Web Service* detalhado na [seção 3.5](#), onde foram apresentados os componentes e operações (vide [Figura 22](#)) adaptados ao AAS.

Esta arquitetura envolve três componentes (atores) básicos: O AAS cliente, o AAS servidor e o AAS repositório; e três operações: publicação, busca e interação.

Os serviços disponibilizados remotamente pelo AAS servidor escuta e responde solicitações de clientes por meio de uma determinada rede e porta. Os AAS clientes, por sua vez, consomem o serviço disponibilizado pelo servidor por meio de solicitações.

Nesta seção são apresentados detalhes sobre os componentes e operações necessárias para o fornecimento serviços no mundo conectado da I4.0.

4.1.1 Componentes

Os componentes da arquitetura e suas inter-relações são apresentados na [Figura 26](#).

De maneira sucinta, os componentes são descritos da seguinte forma: “O AAS Servidor” é a parte que possui um serviço a oferecer para os demais AASs no mundo conectado, o “AAS Cliente” é a parte que necessita de um serviço e que age ativamente

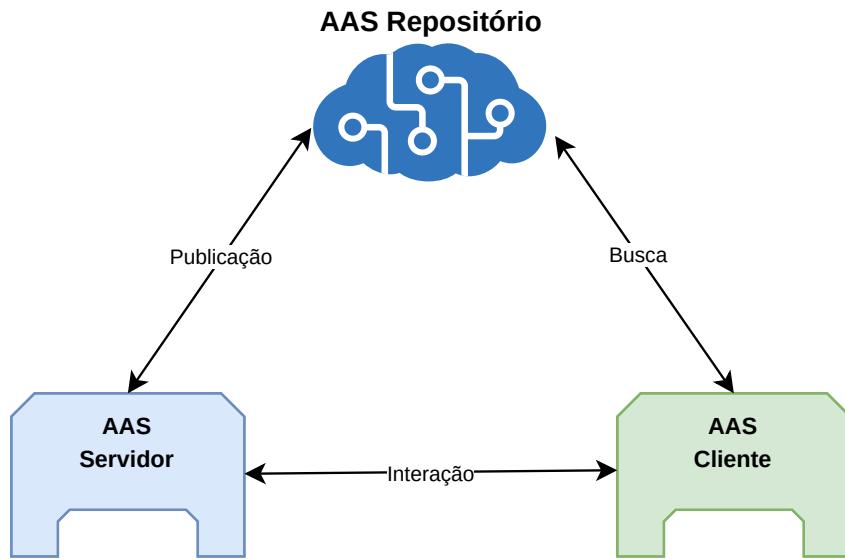


Figura 26 – Componentes e operações do WS.

para receber este serviço e o “AAS Repositório” é a parte que armazena informações sobre descrições de diversos serviços, que são disponibilizados na forma de contratos.

A [Tabela 4](#) lista os componentes da arquitetura para a I4.0 e suas respectivas descrições detalhadas.

Componente	Descrição
AAS Servidor	O AAS Servidor é a conexão direta com o ativo. Este AAS extrai as informações sobre seu ativo para sua própria MDP para que assim possam ser disponibilizadas na rede. Cada submodelo do AAS representa um conjunto de informações e serviços semelhantes agrupados.
AAS Cliente	O AAS Cliente é a parte que irá consumir as informações disponibilizadas pelo AAS Servidor. O cliente representa cada uma das partes envolvidas na cadeia de suprimentos. Pode representar uma instituição, uma pessoa física ou até mesmo uma outra máquina/produto.
AAS Repositório	O repositório é o elemento que recebe, armazena e disponibiliza informações de descrição sobre todos os serviços disponíveis no mundo conectado, as descrições de serviços são disponibilizados em forma de contratos. O AAS recebe operações de “publicação” por parte do AAS Servidor e operações de “busca” por parte do AAS Cliente. O Repositório não atua como canal de comunicação entre AAS Cliente e Servidor, mas apenas fornece informações necessárias para que ambos os AAS possam se comunicar diretamente por meio da operação de “interação”.

Tabela 4 – Componentes da arquitetura para a I4.0.

Neste modelo, o contrato contendo a descrição dos serviços disponíveis nos submodelos de cada AAS é armazenado em um repositório comum, onde todos os AASs disponíveis no mundo conectado na I4.0 podem se tornar visíveis. A função do repositório

é armazenar uma lista de contratos dos AASs disponíveis, mas não o providenciar o serviço em si. O serviço é fornecido pelo próprio AAS Servidor que o tornou público, servindo o repositório apenas como um elemento para a descoberta de serviços.

É importante notar que no mundo da I4.0 todo ativo é englobado por um AAS e se torna um Componente I4.0. Como o repositório detém informações e funções que agregam valor ao negócio, este pode também ser considerado um ativo e, portanto, possui o seu próprio AAS, que é responsável por toda a parte virtual deste ativo.

Cada AAS pode atuar tanto como um fornecedor de serviços (servidor), quanto como um solicitante de serviços (cliente), ou como ambos. Sempre usando o repositório como meio para a publicação ou busca dos serviços.

4.1.2 Operações

As operações de serviços de AASs e suas inter-relações com os componentes são mostradas por meio dos arcos na [Figura 26](#) e suas descrições detalhadas são apresentadas na [Tabela 5](#)

Operação	Descrição
Publicação	Ação tomada pelo AAS Servidor sempre que este componente queira anunciar um serviço para que possa ser descoberto por outros AAS. Nesta operação, o AAS Servidor envia o contrato descrevendo os serviços ofertados e a descrição de cada um desses serviços. Esta lista é recebida e armazenada pelo AAS Repositório, que a disponibiliza para acesso público.
Busca	Ação tomada pelo AAS Cliente sempre que este precise consultar serviços de seu interesse. Nesta operação o AAS Cliente faz uma solicitação ao AAS Repositório com os parâmetros que definem o tipo e as restrições do serviço desejado. A operação de busca engloba também o fluxo contrário de informações, que é o envio da resposta da solicitação do AAS Repositório para o AAS Cliente.
Interação	Ação tomada pelo AAS Cliente sempre que este deseja invocar um serviço. O AAS Cliente estabelece uma conexão direta com o AAS Servidor e consome o determinado serviço solicitado. A operação de interação normalmente é feita após o recebimento da lista de contratos por parte do AAS Repositório, porém a interação pode ser feita diretamente caso o AAS Cliente já possua informações necessárias para o estabelecimento da conexão em <i>cache</i> .

Tabela 5 – Operações do WS para a I4.0.

Para cada uma das operações deve ser definido o contrato, documento o qual descreve as funcionalidades do *Web Service* e estabelece os padrões de comunicação suportados pelo AAS Servidor como, por exemplo, o padrão HTTP REST, HTTP SOAP, gRPC, etc; e especifica como acessar e quais são as operações ou métodos que estão disponíveis no serviço.

Quando o AAS atua como Servidor, este publica seu contrato no repositório por meio de uma API (*Application Programming Interface*). Quando como Cliente, o AAS busca no repositório um serviço desejado e recebe uma lista de opções de serviços com suas respectivas descrições (contidas no contrato). Assim, o serviço mais adequado pode ser selecionado.

Uma vez definido o serviço a ser consumido, o AAS Cliente estabelecerá a conexão direta com o AAS Servidor por meio de algum dos padrões suportados, utilizando os detalhes contidos no contrato para localizar, contactar e invocar o serviço.

A Figura 27 apresenta um diagrama PFS (*Production Flow Schema*) (vide [seção 3.6](#)), com o fluxo de ocorrência das operações básicas no WS para a I4.0.

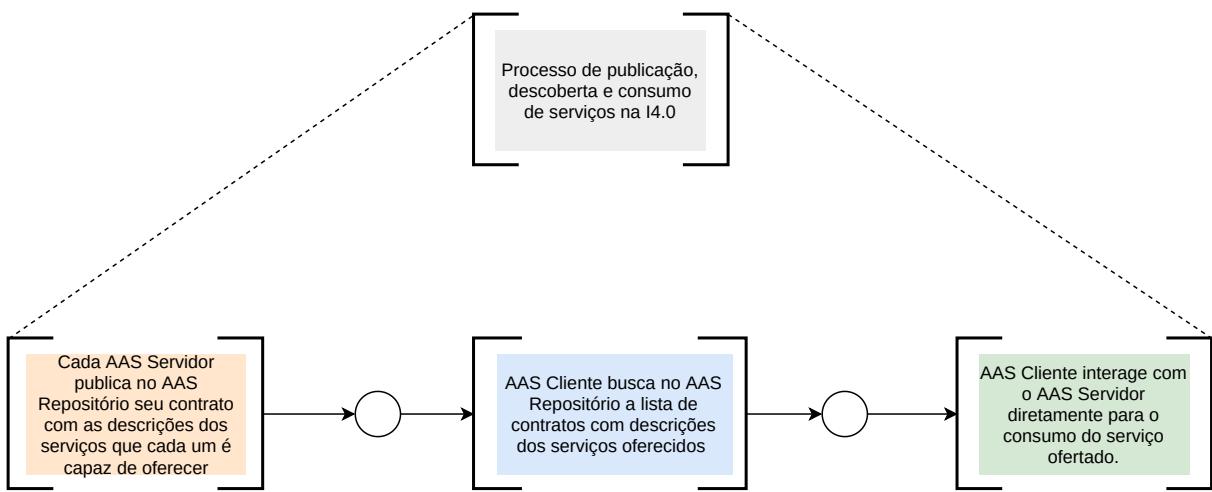


Figura 27 – Diagrama PFS das operações do WS.

Os serviços fornecidos por um AAS são diversos. Entretanto, neste trabalho serão tratados com ênfase aqueles serviços que têm como objetivo o compartilhamento de informações sobre o ativo que possam agregar valor ao produto ao longo de sua cadeia de suprimentos. Ou seja, os serviços que extraem informações da MDP do AAS e as fornecem, mediante autenticação, às partes solicitantes ao longo da cadeia de suprimentos.

4.2 Estrutura do AAS

O conceito de Memória Digital do Produto (MDP) deve ser inserido na Indústria 4.0 com o objetivo de se agregar valor ao produto por meio da possibilidade de acesso a informações sobre o ativo entre parceiros ao longo da cadeia de suprimentos.

Nesta seção são apresentados os detalhes sobre uma possível estruturação do AAS contendo todas as partes necessárias (incluindo a MDP) para a implementação do compartilhamento de informações por meio de WSSs.

A estrutura proposta do AAS é baseada em [Bader et al. \(2019\)](#), que estabelece a divisão do AAS em submodelos e o divide em duas partes: o cabeçalho (*header*) e o corpo (*body*).

O cabeçalho na estrutura proposta terá a função de providenciar informações públicas sobre o ativo que o identifiquem minimamente e que forneça uma descrição sobre seus serviços oferecidos. O cabeçalho deverá conter informações que podem ser acessadas sem a necessidade de autenticação como, por exemplo, seu identificador único universal (UUID - *Universal Unique Identifier*), o modelo e fabricante do ativo. O cabeçalho deverá conter também o contrato daquele *Web Service* com as descrições de seus serviços públicos disponíveis.

O cabeçalho não terá a função de fornecer uma ficha técnica detalhada, mas apenas uma caracterização abstrata das funções/serviços do ativo. O cabeçalho deverá necessariamente conter o UUID do AAS. Sem o UUID o AAS Servidor se torna inacessível para qualquer uma das partes da cadeia de suprimentos.

Dentro dos moldes da estrutura proposta, o corpo (*body*) de um AAS fornece as informações e funcionalidades sensíveis sobre o ativo, que podem ser acessadas mediante autenticação. As funcionalidades dos ativos são agrupadas em forma de submodelos, conforme estabelecido em [Bader et al. \(2019\)](#), [Adolph et al. \(2018\)](#), [Bedenbender et al. \(2017\)](#), que são unidades de agrupamento de propriedades semelhantes. Os dados do ativo são armazenados nos próprios submodelos, enquanto a MDP (que também está contida no corpo do AAS) extrai e gerencia as informações dos submodelos de forma a estruturá-las para serem diretamente fornecidas ao AAS Cliente por meio de *Web Services*.

A MDP no contexto de um AAS é uma *view*, ou seja, ela agrupa e espelha as informações referentes a cada um dos submodelos de um AAS e as organiza de forma a poderem ser facilmente disponibilizadas por meio de WSs.

Como a MDP é parte integral do AAS, que representa a parte virtual do ativo, esta pode ser fornecida em qualquer meio digital, inclusive em armazenamentos remotos em plataformas na nuvem. Estas plataformas específicas suportam o armazenamento de grandes quantidades de dados, assim como podem assegurar uma alta capacidade de processamento de requisições de serviços.

O corpo do AAS representa a carga útil (*payload*) do AAS, pois é a porção de informação que é de fato relevante para o cliente que consumirá os serviços ofertados.

A estrutura de um AAS compatível com a arquitetura orientada a serviços proposta é apresentada na [Figura 28](#).

Os dados puros estão contidos nos submodelos. A MDP fornece apenas uma interface para a visualização dos dados dos submodelos. A MDP atua como um ponto único de extração de dados dos submodelos, evitando desta forma a extração de dados não tratados diretamente dos submodelos.

A MDP é capaz de realizar o gerenciamento dos dados, estabelecendo, por exemplo,

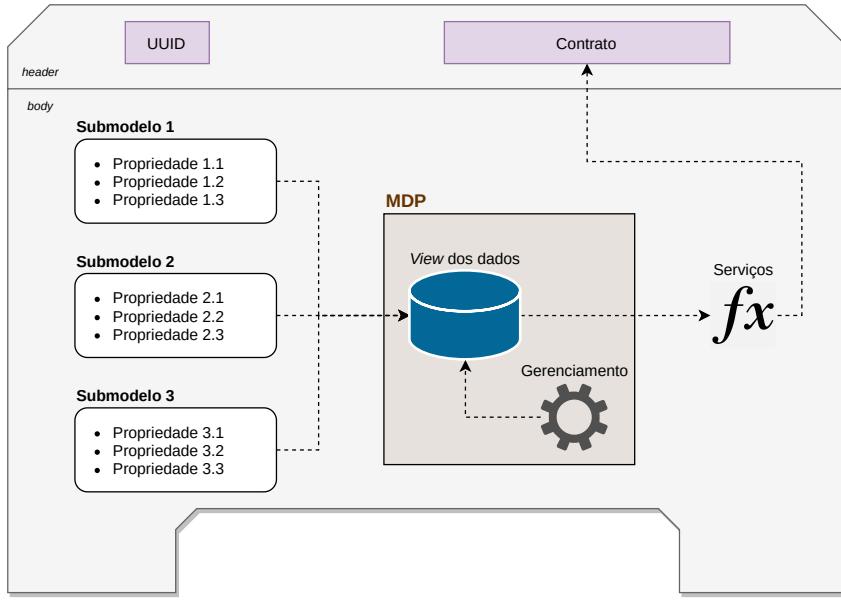


Figura 28 – Estrutura do AAS com seus submodelos e a MDP.

políticas de acesso e/ou escrita e demais regras de negócio do AAS Servidor. Uma analogia é de que os submodelos representam o banco de dados, enquanto a MDP é a API de interface para operações de criação, leitura, atualização e exclusão (operações CRUD - *Create, Read, Update, Delete*) nesta base de dados que são os submodelos.

Neste trabalho é dado foco aos submodelos que se relacionam a informações sobre o produto que sejam de interesse às partes ao longo da cadeia de suprimentos e que possam ser lidos ou escritos por meio dos WSs. Alguns exemplos desse tipo de submodelo podem incluir: a ficha técnica detalhada do ativo, submodelos de histórico de leitura de sensores, histórico de leitura de geolocalização (GPS), histórico de padrões de uso, etc. A relevância sobre cada uma dessas informações a serem armazenadas pela MDP e os impactos do amplo compartilhamento dessas informações ao longo da cadeia de suprimentos é discutido no [Capítulo 5](#).

4.3 Os dados de serviços no repositório

O repositório armazena as descrições dos serviços definidas pelos contratos de cada *Web Service*, que são publicadas por diversos AAS-Servidores no mundo conectado da Indústria 4.0.

Os dados dos contratos contidos no repositório devem ser padronizados para garantir uma interpretação consistente destes por parte do AAS-Cliente, que consome os serviços. Para isso, metamodelos devem ser estabelecidos a fim de se criar moldes sobre os quais os dados devem ser estruturados.

[Bader et al. \(2019\)](#) estabelece padrões de metamodelos para a implementação de submodelos no AAS, porém não aborda um possível repositório de serviços e o arma-

zenamento de dados de serviços. A [Tabela 6](#) traz uma proposta de metamodelo para a estruturação dos dados do repositório.

Propriedade	Descrição
ID do serviço	Número do serviço para a sua identificação única entre todos os repositórios. O ID do serviço pode ser derivado do próprio ID do AAS-Servidor correspondente (E.g., ID_SERVIDOR.ID_SERVIÇO_001).
Descrição do serviço	Descrição sobre todos os atributos e funcionalidades do <i>Web Service</i> juntamente com o tipo de resposta a ser dado em caso de sucesso ou falha. As descrições dos serviços descrevem todos os métodos que um determinado servidor suporta.
ID do AAS Servidor correspondente ao serviço	Tem a função de distinguir exclusivamente os AASs provedores de serviços e todos seus elementos (ADOLPHS et al., 2016) no mundo conectado da I4.0. Alguns tipos possíveis de identificadores são (BADER et al., 2019): IRDI, IRI e UUID. O ID do AAS servidor permite que o consumidor de serviços possa localizar e invocar diretamente o serviço ofertado.
Descrição do AAS Servidor	Breve descrição sobre o AAS Servidor como nome, modelo e companhia fabricante do ativo.
<i>Timestamp</i> do serviço	Registros de data e hora relacionados a operações de inserção e atualização de informações sobre o serviço no repositório.
Qualidade do Serviço	A métrica de qualidade de serviço (<i>Quality of Service - QoS</i>) fornece indicadores sobre a qualidade do serviço prestado por um determinado AAS. O tempo médio de resposta do serviço baseado no tempo de resposta observado por diversas requisições executadas e a disponibilidade do AAS quando solicitado são índices que compõem QoS. Um índice para serviços de qualidade mais subjetiva pode ser criado baseado em avaliações de AAS Clientes que já consumiram o serviço.

Tabela 6 – Metamodelo de dados do repositório.

A [Tabela 6](#) é uma lista não exaustiva das propriedades necessárias para o armazenamento de um serviço. Ela apenas apresenta alguns tipos de propriedades necessárias para identificação e invocação de um serviço na rede.

Para APIs REST o Swagger (ou OpenAPI) é comumente utilizado como formato de contrato, detalhando todos os recursos e operações em um formato legível por humanos e por máquina. Para APIs SOAP, o WSDL é comumente utilizado. APIs com servidores gRPC suportam o contrato por meio de arquivos protobuf (*protocol buffers*).

O AAS-Cliente na operação de busca fará uma requisição ao repositório ou a uma lista de repositórios e receberá (de cada um dos repositórios), por meio de uma API, a lista de serviços com uma estrutura de dados contendo os atributos chave-valor mencionados na [Tabela 6](#).

O AAS-Servidor será, portanto, o responsável pela geração e atualização dos dados referentes a seus serviços no AAS-Repositório. Os dados relacionados a qualidade de

serviço (QoS), entretanto, devem ser gerados pelo próprio AAS Repositório para garantir a integridade dos índices.

A inserção e atualização de um registro no AAS-Repositório deve acontecer sempre que um AAS-Servidor é instalado ou atualizado, o que acarreta uma nova operação de publicação.

4.4 Fluxo de fornecimento de serviços

As etapas para o fornecimento de serviços na I4.0 segue um fluxo padrão. Os submodelos agregam informações semelhantes que podem ser lidas ou escritas (via MDP) e disponibilizada por meio de *Web Services* a qualquer uma das partes ao longo da CS mediante autenticação.

Um fluxo de leitura/escrita de dados pode ser exemplificado com uma CS simples contendo três membros: um fabricante, um distribuidor e um consumidor; cada membro da CS é um AAS Cliente diferente. O fabricante cria o produto, que será o AAS Servidor, e define a estrutura do AAS com os submodelos necessários. A título de exemplo, três submodelos são definidos: submodelo “Geolocalização”, submodelo “Sensores” e submodelo “Documentação”. Ao longo do ciclo de vida do produto, os membros da CS (fabricante, distribuidor e consumidor) podem interagir com esses submodelos, fazendo sua leitura para o caso dos submodelos de geolocalização e sensores, e podendo fazer a leitura e/ou escrita para o caso do submodelo de documentação.

A [Figura 29](#) demonstra este cenário mencionado com o fluxo de operações básicas do WS em funcionamento. Neste exemplo, o **(a)** AAS de um produto mantém contato com o **(b)** AAS da empresa do fabricante, com o **(c)** AAS da empresa do distribuidor, e com o **(d)** AAS do consumidor final, fornecendo o serviço de consulta de informações de diferentes submodelos para cada um dos solicitantes.

Na [Figura 29](#) são mostrados os três submodelos do AAS Produto: **(e)** Submodelo “geolocalização”, **(f)** submodelo “sensores” e **(g)** submodelo “documentação”. A **(h)** MDP realiza o gerenciamento dos dados de todos os submodelos e os disponibiliza para acesso pelos serviços, as descrições dos serviços são armazenados em forma de um **(i)** contrato. Este contrato é **(j)** publicado no repositório.

O **(k)** AAS Repositório recebe o contrato do AAS Produto e o disponibiliza para consulta. O AAS Repositório receberá também os contratos de diversos outros AASs (não representado na figura).

Os AAS Clientes fazem a **(l)** busca no AAS Repositório. As buscas são feitas com parâmetros a fim de se restringir qual tipo de serviço aquele cliente pretende consumir, podendo-se restringir a busca, inclusive, ao serviço de um AAS específico, identificando-o por meio de seu UUID.

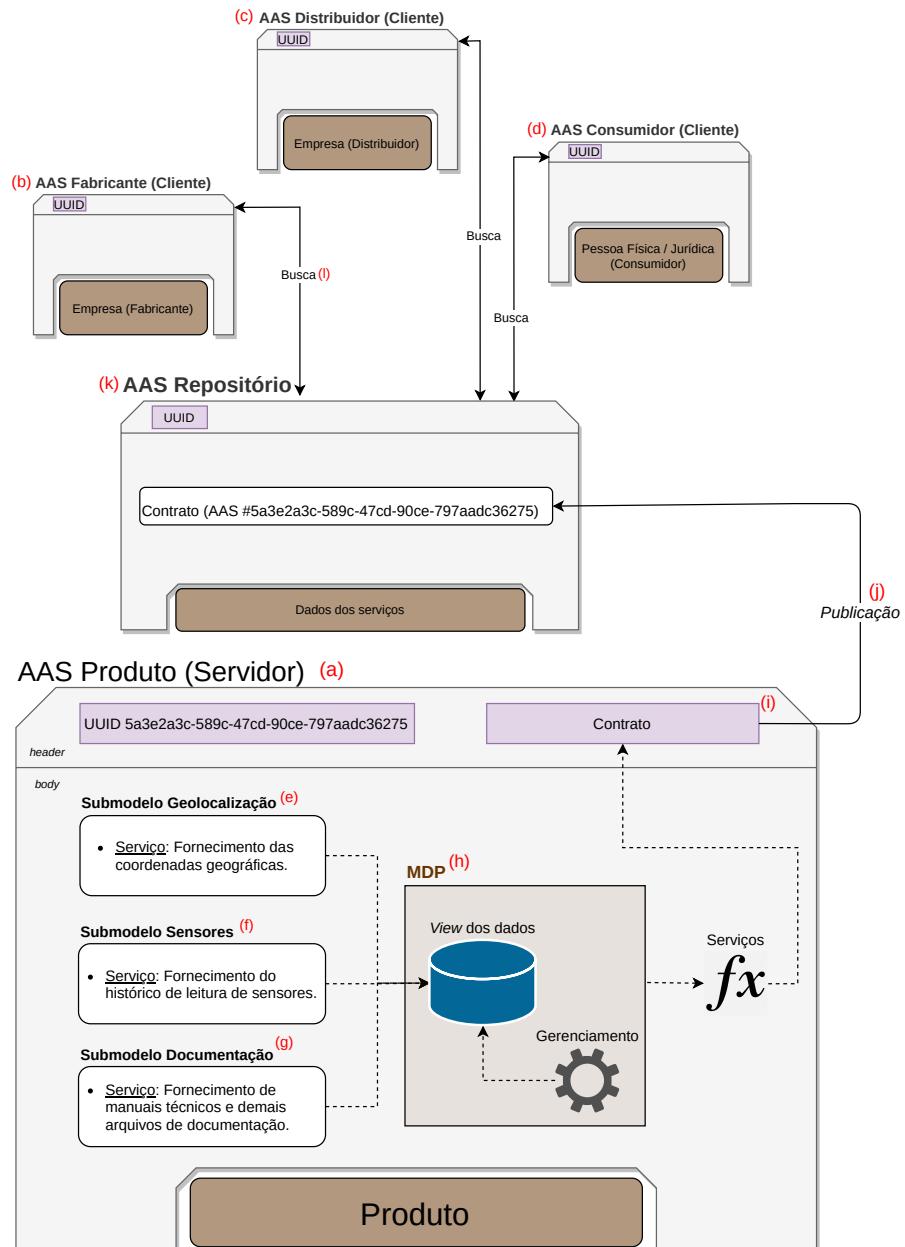


Figura 29 – Exemplificação das operações de publicação e busca com múltiplos clientes.

Cada AAS Cliente (Fabricante, Distribuidor ou Consumidor), portanto, realiza a consulta ao AAS Repositório com os parâmetros de interesse e recebe a resposta de contratos contendo descrições detalhadas sobre os serviços disponíveis e informações para localizar, contactar e invocar estes serviços.

O próximo passo (após o recebimento da resposta do AAS Repositório) é a decisão interna de cada AAS Cliente sobre qual serviço selecionar. Uma vez definido, o AAS Cliente estabelece uma comunicação direta com o AAS Servidor (produto) para o consumo do serviço selecionado, a interação. Os passos de seleção do serviço específico e interação não são demonstrados na figura.

Este é um exemplo de consulta única. Em aplicações reais, o cliente normalmente invocaria o serviço de diversos AAS Servidores ao mesmo tempo, como, por exemplo, um fabricante solicitando informações de todas as máquinas de um modelo específico que foram vendidas a clientes espalhados pelo mundo para realizar análise de dados a fim de se fazer uma manutenção preditiva por meio da identificação de potenciais falhas. Tal cenário é demonstrado em forma de um segundo exemplo na [Figura 30](#).

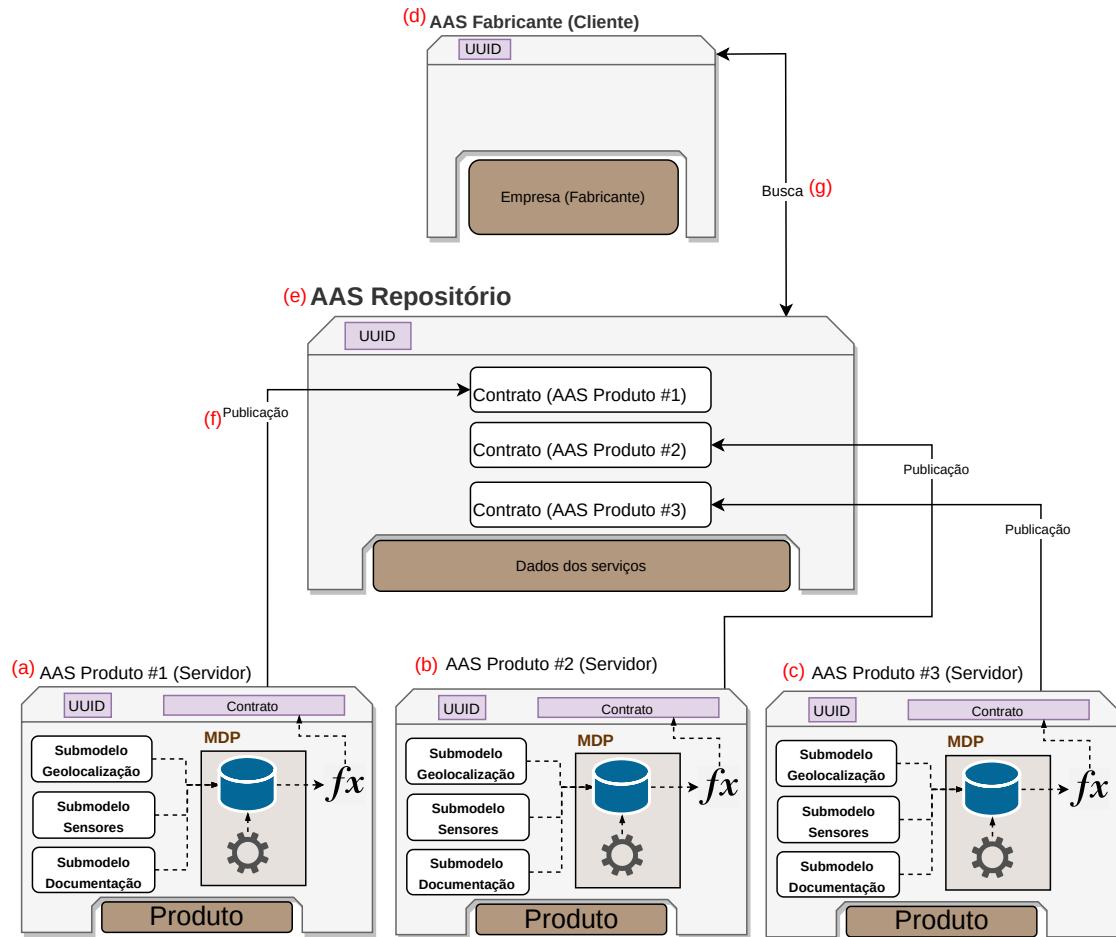


Figura 30 – Exemplificação das operações de publicação e busca com múltiplos produtos.

A [Figura 30](#) demonstra a situação de uma consulta de um AAS Cliente em múltiplos produtos. Neste exemplo, cada AAS Produto (**a**, **b** e **c**) realiza uma operação de (**f**) publicação no (**e**) AAS Repositório.

O (**d**) AAS Fabricante (Cliente) por sua vez faz uma busca no AAS Repositório especificando os parâmetros que restrinjam a pesquisa a somente determinados modelos de produtos, e recebe como resposta todas as descrições dos serviços que correspondem aos critérios de busca.

4.5 Mapeamento das operações no RAMI4.0

Segundo IEC (2017), o RAMI4.0 fornece uma visão estruturada dos principais elementos de um ativo usando um modelo de níveis composto por três eixos. Desta forma, inter-relações complexas podem ser divididas em seções menores e mais gerenciáveis, combinando os três eixos para representar cada aspecto relevante do estado do ativo em cada ponto de seu ciclo de vida.

Esta seção tem o objetivo de mapear as operações envolvidas nos fluxos de compartilhamento informações ao longo da cadeia de suprimentos para as camadas do RAMI4.0 de forma a representar as etapas relacionadas ao trânsito de informações em um modelo unificado.

O mapeamento para o RAMI4.0, que é uma arquitetura de referência para a I4.0, contribui para facilitar a execução de implementações de conceitos de I4.0 uma vez que estabelece um padrão de arquitetura que deve ser adotado por todos, garantindo a interoperabilidade entre os sistemas.

Até então neste capítulo os componentes da arquitetura (cliente, servidor e repositório) foram referenciados como AAS, sendo esta somente a parte virtual de um componente. A partir desta seção os ativos reais passam a compor o fluxo de compartilhamento de informações e, portanto, os termos C4.0-Cliente, C4.0-Servidor e C4.0-Repositório passarão a ser utilizados para denotar os componentes completos, ou seja a junção do AAS com sua parte real (o ativo).

4.5.1 Funcionalidades das camadas do RAMI4.0

Na subseção 3.1.1 foram apresentados os detalhes do RAMI4.0 e o detalhamento de cada nível do eixo Camadas com suas funções genéricas. Nesta subseção são mostradas as funções específicas da arquitetura proposta para cada camada e sob o contexto do compartilhamento de informações pela CS .

Na camada **Ativo** estarão os produtos (servidor de informações), clientes (empresas, pessoas, consumidores das informações) e repositórios (armazenamento de contratos).

Para o compartilhamento de informações do produto no mundo I4.0, os dados a serem extraídos do ativo são estrategicamente selecionados com o objetivo de reunir somente os que agreguem valor ao próprio ativo. Assim, estes dados selecionados são extraídos do ativo e repassados às camadas superiores para que possam ser armazenados e compartilhados por meio de serviços.

A camada **Integração** está presente no C4.0-Servidor, pois dele serão extraídos os dados desde o ativo até as camadas superiores. Tanto o C4.0-Cliente quanto o C4.0-Repositório operam primariamente nas camadas virtuais, porém também possuem esta camada para outros fluxos de integração com os ativos da empresa, seja ele um *software* (e.g., uma base de dados de ERP, um repositório) ou um componente físico.

Com relação à camada **Comunicação**, para a arquitetura de compartilhamento de informações de ativos, não haverá comunicação entre C4.0s dentro da mesma empresa uma vez que todas as operações de um WS (publicação, busca e interação) ocorrem entre componentes de organizações distintas. Esta camada, entretanto, é necessária para as diversas outras comunicações inter-organizacionais. Os protocolos estabelecidos nesta camada para a integração vertical são independentes dos protocolos para a integração horizontal, que são definidos na camada funcional.

Na camada **Informação** do C4.0-Repositório estarão armazenados os contratos disponibilizados por cada produto. No C4.0-Servidor, esta camada armazena os submodelos e a MDP.

Na camada **Funcional** ocorre toda a integração horizontal entre as partes da cadeia de suprimentos de um produto. Os serviços são disponibilizados por meio da camada funcional, portanto esta é a interface entre os C4.0s de diferentes empresas.

O fornecimento de serviços ao longo da cadeia de suprimentos é considerado uma integração horizontal uma vez que cada parte da CS representa uma organização diferente. Para o fornecimento e consumo desses serviços de compartilhamento de informações, devem ser definidas também as especificações da API, ou seja, o padrão de requisição e resposta para o fornecimento e consumo de serviços como, por exemplo, o padrão REST.

Na camada **Regra de Negócio** estarão as restrições aplicadas sobre os *Web Services*, como as políticas de privacidade de dados (e.g., restrições de acesso a determinados serviços) e as restrições legais de cada país.

A regra de negócio estabelecerá quem na cadeia de suprimentos terá permissão para acessar quais informações do produto e quando. Um fabricante, por exemplo, terá acesso aos dados de padrões de uso de um ativo somente sob a permissão do cliente, o que representa uma regra nesta camada. Um distribuidor, por sua vez, só poderá ter acesso à localização do ativo enquanto o produto estiver sob sua custódia.

Para cada tipo de operação relacionada a um Componente I4.0, é necessário detalhar o fluxo de dados e de eventos acontecendo em cada uma das camadas. Este detalhamento permite que implementações de soluções I4.0 sejam facilitadas e garante que a criação dessas soluções por diversos desenvolvedores de sistemas resulte em sistemas que sejam interoperáveis, independentemente da tecnologia adotada.

O Componente I4.0 pode ainda ser mais detalhadamente especificado, identificando se o componente representa um produto em desenvolvimento ou um produto em produção. Estes detalhes são cobertos pelo eixo “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor” e considerações sobre este eixo envolvendo a arquitetura proposta baseada em WSs é apresentada no [Capítulo 5](#).

A [Figura 31](#) apresenta os componentes da arquitetura de fornecimento de WSs dentro do eixo Camadas do RAMI4.0.

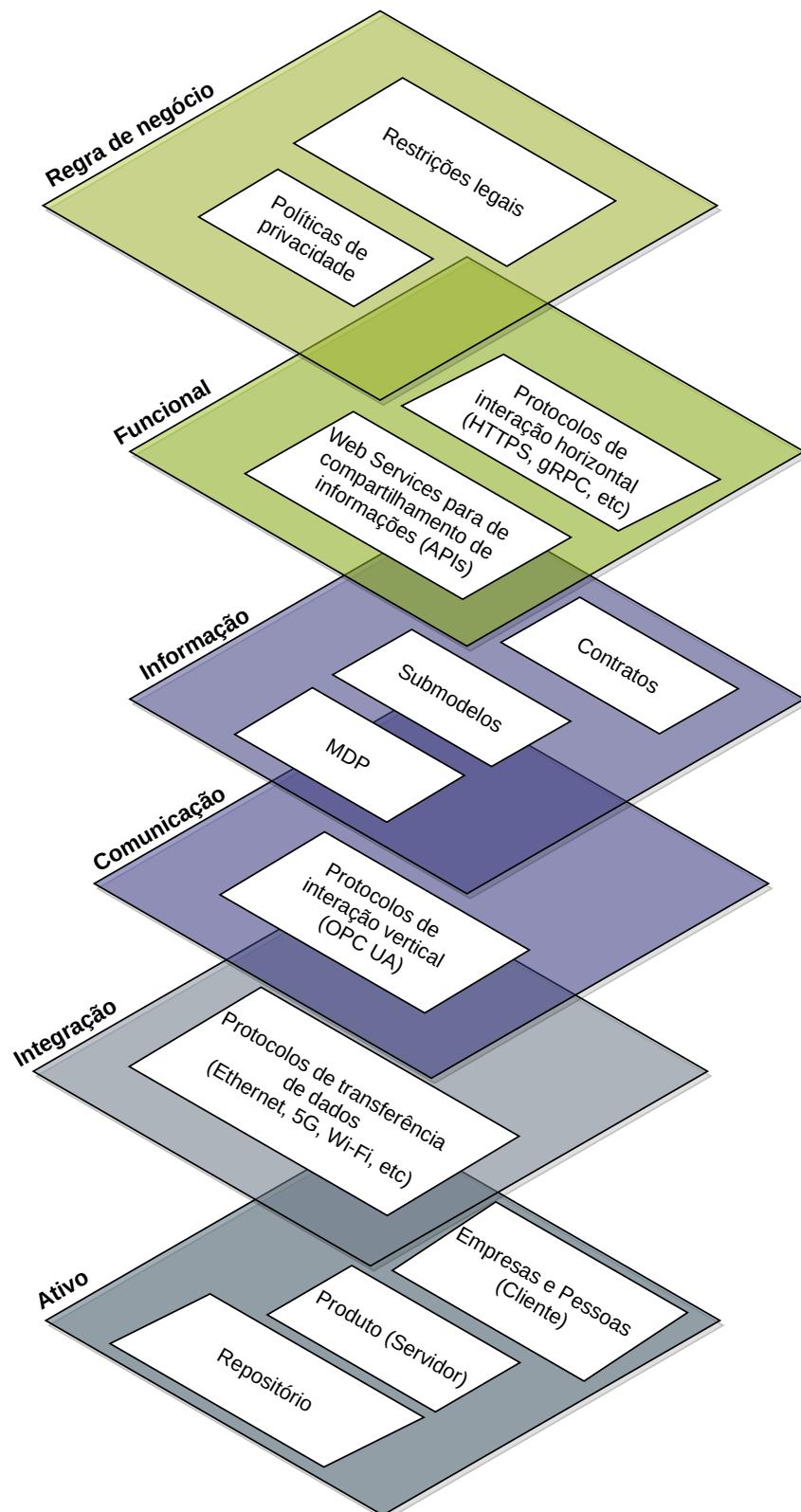


Figura 31 – Camadas do RAMI4.0 com os elementos da arquitetura.

4.5.2 Operação de Publicação

A Figura 32 apresenta diagramas PFS do fluxo de atividades para a operação de publicação de um C4.0-Servidor em um C4.0-Repositório.

A operação de publicação se inicia sempre que um novo ativo e seu AAS correspondente for instalado ou quando esse AAS for atualizado.

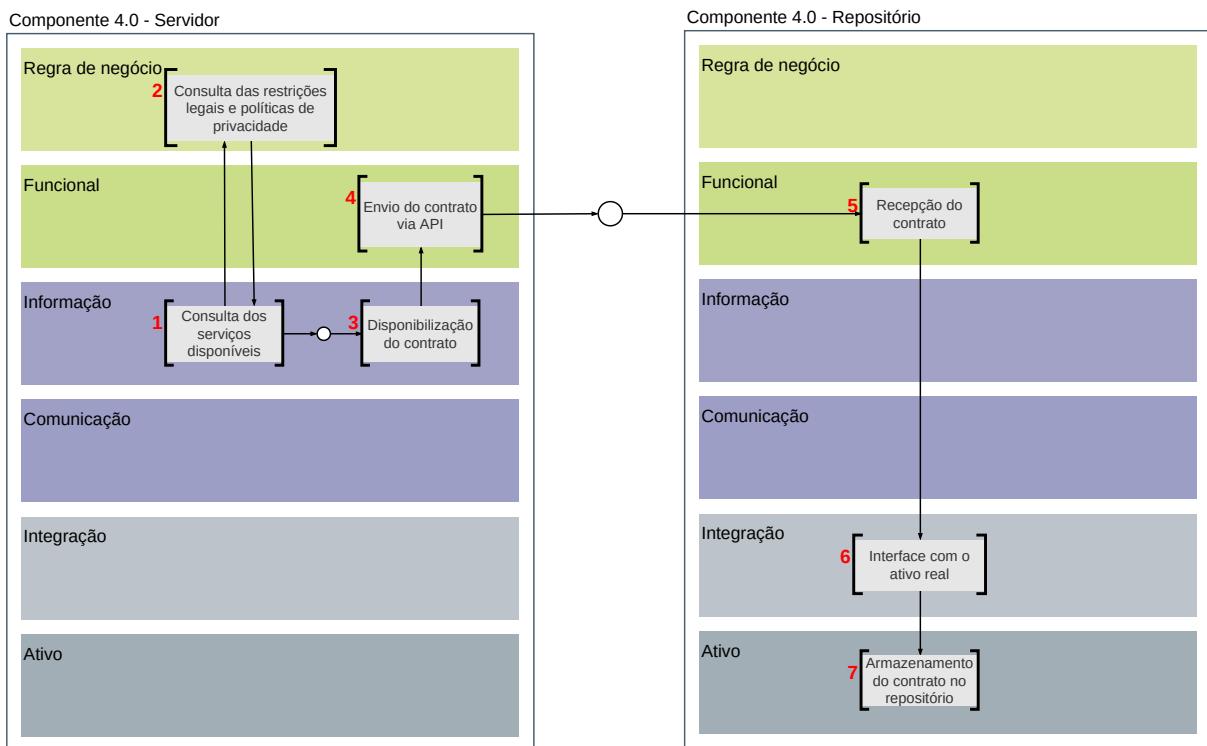


Figura 32 – Diagrama PFS da operação de publicação.

Esta operação é iniciada pelo C4.0-Servidor recém instalado ou atualizado, seguindo um fluxo de atividades estabelecido até chegar no ativo do C4.0-Repositório, os passos são detalhados a seguir:

1. Os serviços de compartilhamento de informações do C4.0-Servidor disponíveis são identificados e listados.
2. As restrições legais e as políticas de privacidade para um determinado C4.0 são acessadas. Esta atividade adicionará restrições aos serviços a serem publicados. Estas restrições serão incorporadas à descrição de cada serviço a ser publicado.
3. O contrato contendo as descrições de serviços disponíveis no C4.0-Servidor é disponibilizado.
4. O contrato é enviado ao C4.0-Repositório via API.

5. O C4.0-Repositório recebe o contrato no formato de intercâmbio definido. A descrição dos serviços nesta fase já contém todas as informações para a identificação do serviço e de seu componente correspondente.
6. Os dados recebidos alimentam uma interface para comunicação com o ativo real.
7. O contrato com a lista das descrições dos serviços é armazenado junto aos demais contratos no ativo “repositório” do C4.0-Repositório.

4.5.3 Operação de Busca

A operação de busca é dividida em duas partes: a requisição e a resposta. A requisição é a iniciativa do C4.0-Cliente de requerer a lista de contratos contidas em um C4.0-Repositório, que descreve os serviços de cada ativo cadastrado. O fluxo de atividades da requisição em uma operação de busca é apresentado na [Figura 33](#).

Já a resposta da requisição em uma operação de busca é feita pelo C4.0-Repositório para o C4.0-Cliente e é apresentada na [Figura 34](#).

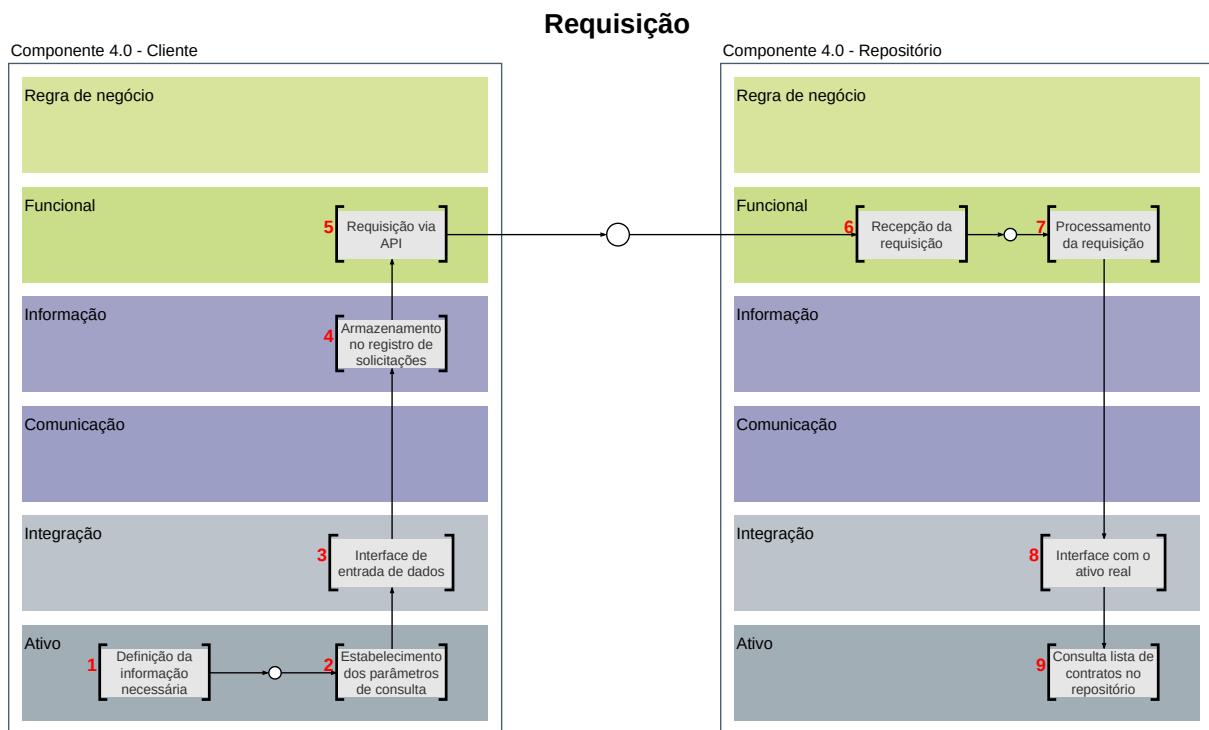


Figura 33 – Diagrama PFS da requisição em uma operação de busca.

A operação de requisição para a busca de um serviço parte do C4.0-Cliente e segue um fluxo estabelecido até chegar ao C4.0-Repositório, esses passos são detalhados a seguir:

1. O processo de requisição se inicia com a definição por parte do ativo do C4.0-Cliente (pessoa ou empresa) sobre qual informação se deseja consultar como, por exemplo, leituras de sensores, localização geográfica, manuais, etc.
2. A partir do tipo de informação a ser consultada, define-se os parâmetros de consulta, que representam o conjunto de restrições que estabelecem qual é exatamente o tipo de serviço que o AAS Cliente deseja consumir. Para os serviços que visam a extração de informações do ativo, os parâmetros representam, por exemplo, o ID do provedor de serviços, o horário e data de um determinado evento, uma filtragem por modelos específicos de um produto, etc.
3. Os parâmetros de consulta alimentam uma interface para que a solicitação possa ser virtualizada e integrada ao AAS. Nesta atividade a intenção de solicitação de um serviço é virtualizada.
4. Opcionalmente, são armazenados os detalhes da solicitação em um registro de solicitações.
5. A requisição é enviada ao C4.0-Repositório via API.
6. O C4.0-Repositório recebe a solicitação e a insere ao final da lista de solicitações para ser processada.
7. A requisição é processada. Identifica-se nesta atividade se a requisição é válida e se ela contém todos os parâmetros necessários para a consulta.
8. Estabelece-se uma interface para a interação entre o AAS e seu ativo real para a consulta das informações solicitadas na requisição.
9. Realiza-se a leitura da lista de contratos no repositório utilizando os parâmetros de consulta estabelecidos.

Após a requisição, o C4.0-Repositório envia a resposta ao C4.0-Cliente. O fluxo de atividades da resposta é apresentada em diagramas PFS na [Figura 34](#).

Detalhadamente, a resposta do C4.0-Repositório segue o fluxo de atividades, começando pela disponibilização das informações reais do ativo repositório:

1. Os dados do ativo são disponibilizados para as camadas superiores.
2. Os dados disponibilizados são virtualizados para a integração com o AAS.
3. O contrato contendo a descrições dos serviços é disponibilizado para acesso por parte da camada Funcional. A lista pode conter serviços válidos, assim como pode conter mensagens de erro por conta de solicitações inválidas ou buscas retornando zero correspondências.

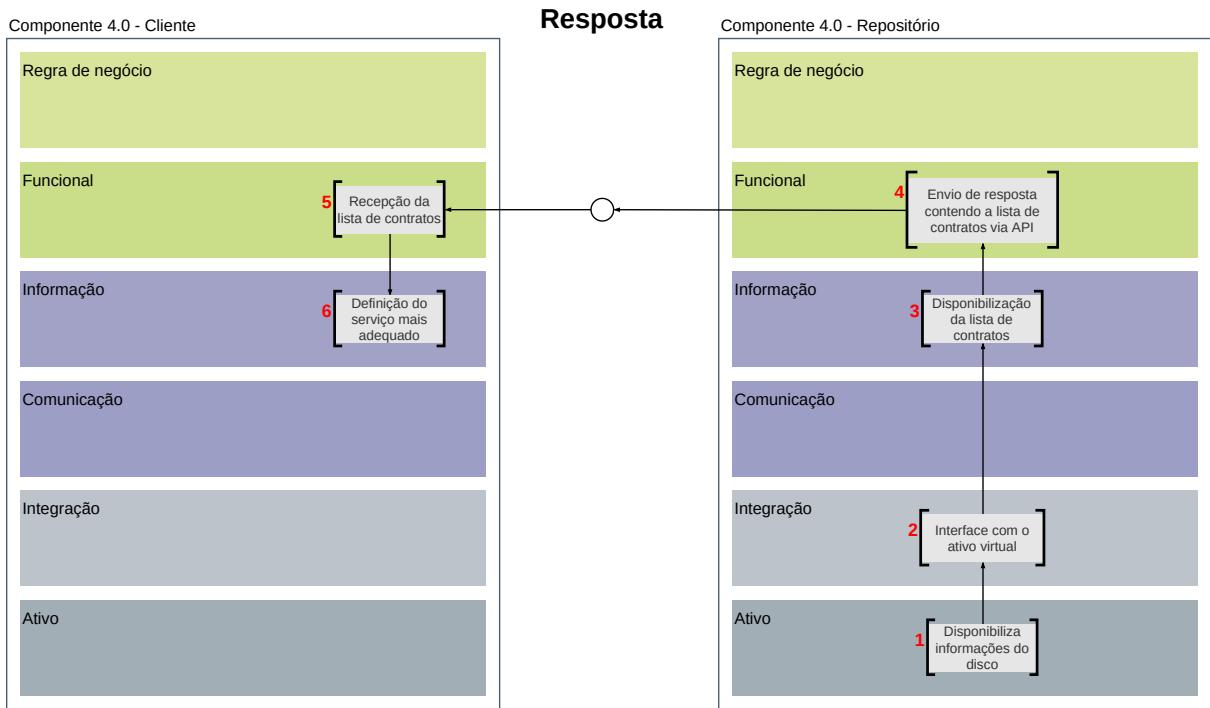


Figura 34 – Diagrama PFS da resposta em uma operação de busca.

4. A resposta é enviada ao C4.0-Cliente via API.
5. O C4.0-Cliente recebe a resposta contendo os contratos no formato de intercâmbio definido.
6. Após a recepção da lista de contratos contendo todos os serviços disponíveis, é feito o processamento para a definição do serviço mais adequado. Esta fase geralmente não fornece múltiplas opções para a consulta de serviços de compartilhamento de informações ao longo da cadeia de suprimentos uma vez que os parâmetros de consulta na requisição ao repositório geralmente já delimitam exatamente o serviço e o AAS-Servidor que o cliente busca.

4.5.4 Operação de Interação

A operação de interação é a fase final para o consumo de um serviço disponibilizado no mundo conectado da I4.0. Assim como a busca, a interação é dividida em requisição e resposta. Primeiramente, o C4.0-Cliente faz uma requisição de consumo de um serviço com parâmetros e então a requisição é processada e respondida pelo C4.0-Servidor.

A [Figura 35](#) apresenta o fluxo de atividades em uma requisição de um serviço e a [Figura 36](#) a resposta do servidor.

A requisição de um serviço na operação de interação é iniciada pelo C4.0-Cliente e é enviada diretamente ao C4.0-Servidor usando o contrato fornecido pelo C4.0-Repositório.

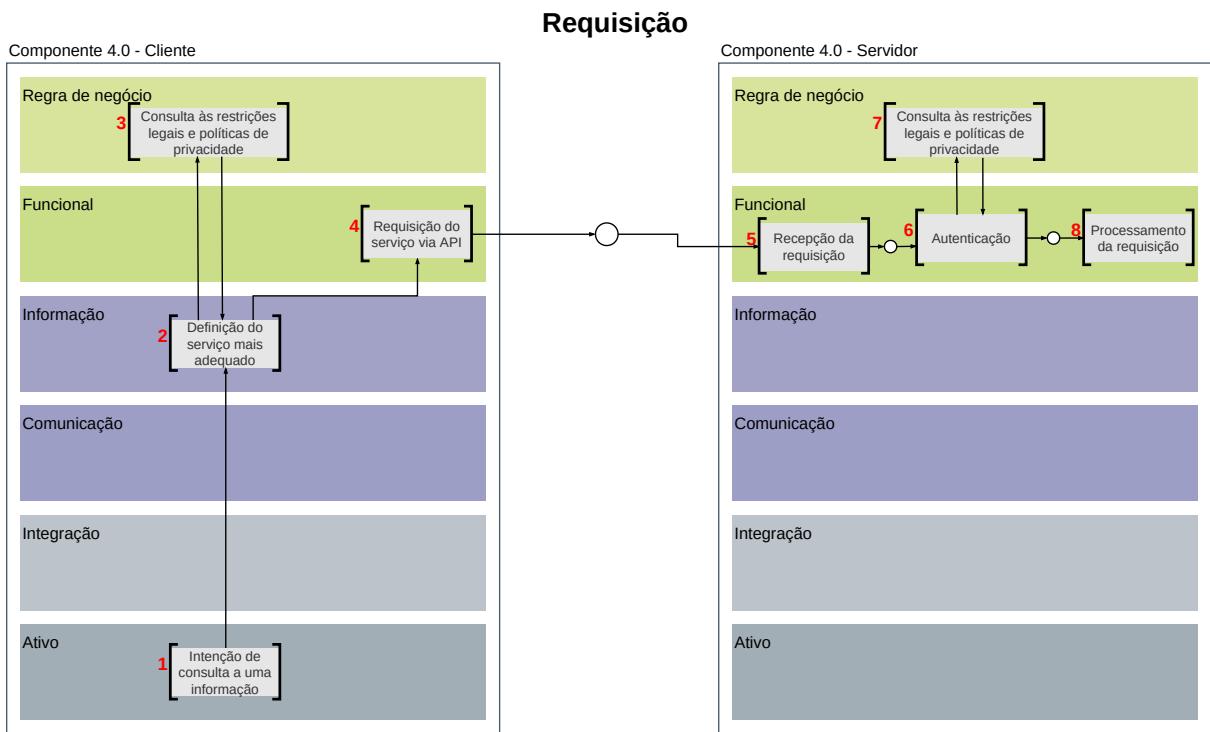


Figura 35 – Diagrama PFS da requisição de um serviço em uma operação de interação.

O fluxo de atividades para a requisição de um serviço é detalhada a seguir:

1. Surge a necessidade de consumo de uma informação por parte do ativo.
2. Define-se qual é o serviço mais adequado e de qual C4.0 será consumido.
3. As restrições legais e as políticas de privacidade do C4.0-Cliente são consultadas. Essas regras de negócio são incorporadas ao processamento sobre a definição do serviço mais adequado a ser escolhido.
4. A requisição do serviço é enviada ao C4.0-Servidor via API.
5. O C4.0-Servidor recebe a requisição e a insere ao final da lista de requisições para ser processada.
6. É feita a autenticação da identidade do C4.0-Cliente e a autorização para o consumo do serviço. Nesta atividade é verificado se o cliente possui autorização para consumir o serviço e consequentemente os dados que estão sendo solicitados.
7. Consulta-se as restrições legais e as políticas de privacidade do C4.0-Servidor para a autorização ou bloqueio do fornecimento do serviço ao cliente solicitante.
8. A requisição é processada. Identifica-se nesta atividade se a requisição é válida e se ela contém todos os parâmetros necessários para o fornecimento do serviço.

Após o recebimento e processamento da requisição de um serviço, o C4.0-Servidor deve fazer a extração e envio das informações do ativo. A resposta contendo as informações sobre o produto começa com a emissão de um evento no ativo ou, caso a informação já esteja disponível na MDP, começa direto da camada de Informação. Esta informação percorre um fluxo padrão para que seja disponibilizada ao C4.0-Cliente por meio do serviço. A [Figura 36](#) mostra as atividades do fluxo de resposta.

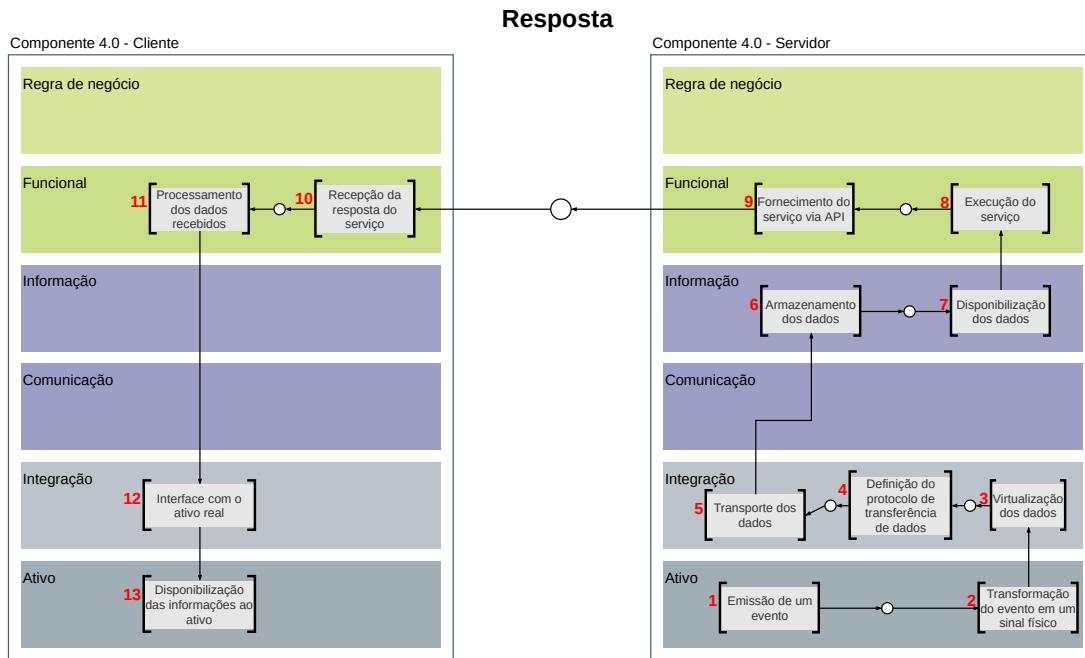


Figura 36 – Diagrama PFS da resposta de um servidor ao se solicitar um serviço.

O detalhamento do fluxo de atividades da resposta é detalhado a seguir:

1. Um evento físico no mundo real é emitido.
2. O evento fornece sinais físicos que podem ser medidos.
3. Os sinais físicos são interpretados e virtualizados. Nesta atividade é criado um correspondente virtual para o evento do ativo físico, ou seja, os dados são digitalizados e disponibilizados ao AAS.
4. É definido o meio de transporte e o protocolo de transferência de dados como, por exemplo, o Wi-Fi, Ethernet, 5G, etc.
5. Os dados são devidamente transportados pelo meio e protocolo definidos até uma central de processamento.
6. Os novos dados sobre o ativo são armazenados pela MDP nos submodelos junto aos demais dados já existentes.

7. Os dados são disponibilizados ao serviço. Caso a informação já estivesse contida na MDP do C4.0-Servidor esta seria a primeira atividade da resposta uma vez que não seria necessária a extração dos dados diretamente do ativo.
8. O serviço é executado e sua resposta é gerada. O serviço pode executar quaisquer operações sobre os dados atualizados sobre o ativo assim como sobre o histórico de registros antigos já disponíveis nos submodelos.
9. A resposta do serviço (fornecimento do serviço) é enviada via API.
10. O C4.0-Cliente recebe a resposta do serviço no formato de intercâmbio definido.
11. Os dados recebidos na resposta são processados.
12. As informações geradas alimentam uma interface para comunicação com o ativo real.
13. As informações do C4.0-Servidor processadas são disponibilizadas ao ativo do C4.0-Cliente.

5 O ciclo de vida do produto na I4.0

Este capítulo visa trazer discussões sobre o impacto do amplo compartilhamento da memória digital do produto (MDP) ao longo da cadeia de suprimentos por meio de serviços na Indústria 4.0.

São abordadas possíveis mudanças na curva de ciclo de vida do produto e o surgimento de novos modelos de negócio baseado em dados (*data-driven*).

Uma visão da MDP sobre o eixo “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor” do RAMI4.0 é abordada, discutindo as atribuições dos AAS como “tipos” e como “instâncias”.

5.1 Ciclo de vida do produto no RAMI4.0

O modelo do RAMI4.0 apresenta um eixo de ciclo de vida generalizado, derivado da norma IEC 62890 ([ADOLPHS et al., 2015](#)). O objetivo deste eixo é representar o ciclo de vida de um Componente I4.0 ao longo de toda a sua cadeia de valor.

Os “tipos” estão presentes desde a concepção/conceitualização até os primeiros protótipos/testes. O “tipo” de um ativo é definido pelas suas propriedades e funcionalidades distintas. Todos os itens que são criados ao longo do projeto de um produto (e.g., desenhos em CAD, manuais, *softwares*, etc) são incorporados ao “tipo” do ativo. Informações externas associadas ao ativo que são criadas ao longo de seu desenvolvimento como informações de *marketing* também são incorporadas ao “tipo”.

As instâncias são criadas, produzidas ou fabricadas com base nas informações de um “tipo” de ativo. Informações específicas sobre produção, logística, qualidade e testes são associadas à “instância” de um ativo. Nesta fase, os dados de uso são coletados e associados para então poderem ser armazenados na MDP de cada ativo e serem compartilhados com outros parceiros ao longo da cadeia de suprimentos.

O histórico completo do ciclo de vida do produto está associado à combinação entre “tipo” e a “instância” de um determinado produto. Estes dados podem ser aproveitados de forma inteligente para a geração de valor, gerando assim novos modelos de negócio.

Os relacionamentos entre “tipos” e “instâncias” são cíclicos e possibilitam a retroalimentação de informações. Para os ativos de um produto, por exemplo, informações sobre seu uso e sobre manutenções realizadas podem ser armazenadas na MDP e assim auxiliar em melhorias no seu próprio processo de fabricação, além de ser fonte de dados para o desenvolvimento de novas versões aperfeiçoadas do mesmo produto, gerando um novo “tipo”.

Portanto, esse fluxo de informações entre ambas as fases de um produto são essenciais para a melhoria de seu próprio projeto. A [Figura 37](#) ilustra como ocorre

a instanciação (criação de uma instância a partir de um tipo) e o uso da MDP das “instâncias” para a criação de novas versões de um “tipo”.

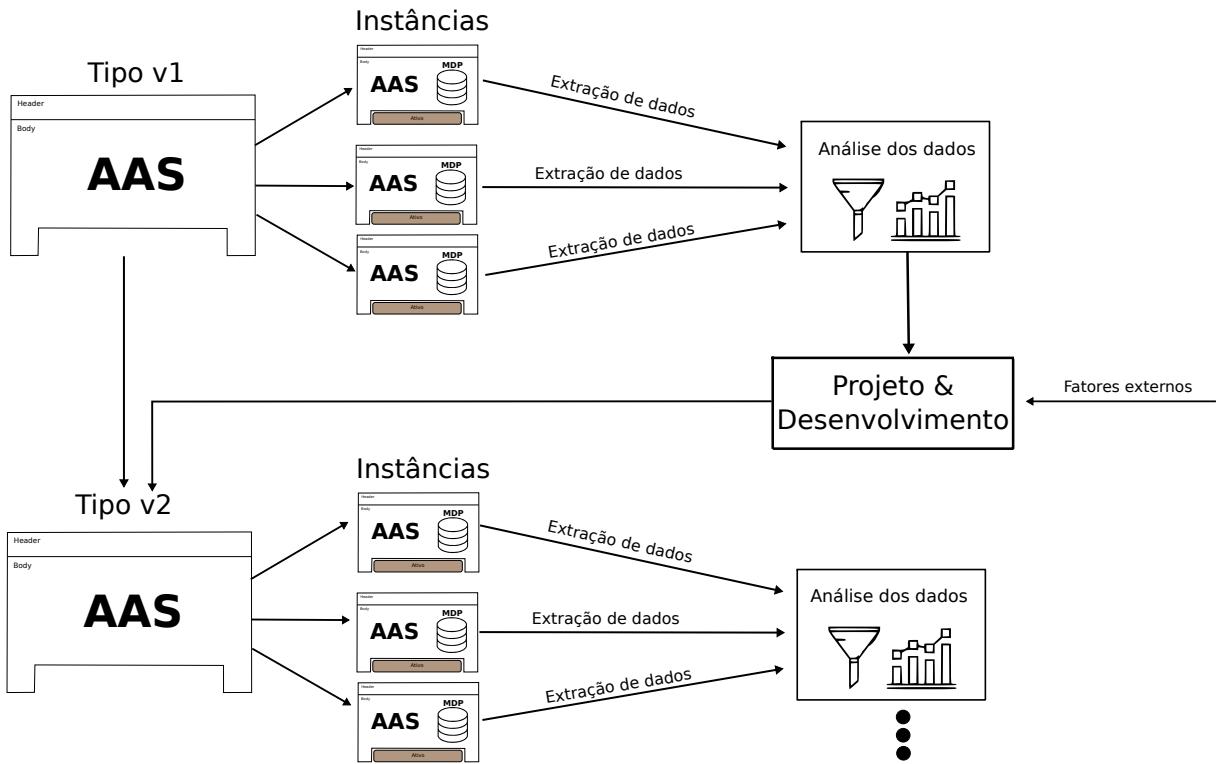


Figura 37 – Ciclo de vida do produto.

5.2 Transformação da competitividade por meio de produtos inteligentes

O extenso uso de sensores e recursos de conexão permitem que produtos se tornem “inteligentes”, isto é, ganhem a capacidade de se comunicar com outros dispositivos e compartilhar informações de estado (FRÄMLING et al., 2013).

A ascensão de produtos inteligentes no contexto da Indústria 4.0 trazem algumas formas de agregação de valor ao produto por meio do compartilhamento de informações. Neste capítulo são apresentadas duas novas classificações sobre formas de melhoria do produto e agregação de valor por meio da MDP: as **melhorias de projeto** (subseção 5.2.1) e as **melhorias operacionais** (subseção 5.2.2) .

Estes novos tipos de produtos e a possibilidade de exploração de seus dados alteram a estrutura da indústria e a natureza da concorrência, expondo as empresas a novas oportunidades e ameaças competitivas (PORTER; HEPPELMANN, 2014).

Os “produtos inteligentes” detêm conectividade com a sua própria cadeia de suprimentos, possibilitado por grandes melhorias no poder de processamento, pela miniaturização e redução de custos.

rização de dispositivos e pelos benefícios de rede com a conectividade sem fio onipresentes. Tudo isto está desencadeando uma nova era de competição.

5.2.1 Uso da MDP na melhoria de projeto do produto

A extração de informações da MDP auxilia no desenvolvimento de novas versões com “tipos” aprimoradas. Novos “tipos” aprimorados significam a melhoria de projeto do produto.

Com os ciclos de vida do produto cada vez mais curtos e cadeias de suprimentos cada vez mais complexas, explorar o registro de informações do produto pode garantir uma posição competitiva de uma empresa comercial frente aos competidores.

Além disso, a memória digital do produto abre novas possibilidades em relação ao combate à pirataria e falsificação de produtos, na proteção ao consumidor e na garantia de qualidade do produto ([WAHLSTER, 2007](#)).

[Porter e Heppelmann \(2014\)](#) e [Porter e Heppelmann \(2015\)](#) classificam as funções e capacidades dos produtos em quatro áreas: monitoramento, controle, otimização e autonomia. Por meio da análise da descrição das funcionalidade e capacidades de cada área, foi feito um mapeamento dessas funcionalidades para o contexto do eixo ciclo de vida e cadeia de valor do RAMI4.0.

As funcionalidades e capacidades dos produtos no que diz respeito à melhoria de projeto foram então reclassificadas sob o contexto do RAMI4.0, chegando-se às seguintes categorias:

- Identificação e reparo de falhas de projeto;
- Adição/remoção de funcionalidades;
- Melhorias de experiência do usuário com o produto;
- Geração de indicadores.

Estas categorias permitem segregar os dados de acordo com seus respectivos objetivos ao serem inseridos no projeto de um produto. Além disso, as categoriais dão indícios de possíveis informações genéricas a serem armazenadas pelo produto ao longo de seu ciclo de vida, independente da indústria na qual o produto está inserido.

A seguir são apresentadas as descrições de cada uma das categorias elaboradas sobre funcionalidades e capacidades de produtos inteligentes no que diz respeito às melhorias de projeto.

A **identificação e reparo de falhas de projeto** permite o monitoramento remoto de produtos e identificação de eventuais falhas de projeto por meio da análise de um alto volume de dados e identificação de padrões.

A identificação de potenciais falhas se dá, por exemplo, por meio da leitura de sensores de temperatura e vibração de diversos produtos de um mesmo modelo. Valores discrepantes do esperado podem, então, serem identificados em uma amostra. Os erros estruturais de projeto do produto são reparados e lançados em um novo “tipo” ou uma nova versão do produto.

A **adição/remoção de novas funcionalidades** se dá pelo monitoramento do produto, que permite com que empresas e clientes explorem as características operacionais e o histórico de um produto, ou seja, de que maneira o usuário opera um determinado produto. Desta forma, é possível entender melhor como o produto é realmente usado e a partir disso levantar a necessidade da adição de novas funcionalidades ou até mesmo a remoção de funções pouco utilizadas.

O monitoramento das características operacionais do produto é uma forma de evoluir o projeto de produtos por meio da simplificação do projeto. Desta forma, atende-se às reais necessidades do usuário e se evita produtos inflados de funcionalidades ou com funcionalidades importantes faltando.

A **melhoria de experiência do usuário com o produto** se dá pela exploração e análise das informações que descrevem a maneira e padrões como o usuário interage com o produto. Desta forma, as informações podem ser utilizadas pelo fabricante para a determinação de funções do produto que podem não ser claras para o usuários ou funções que estão sendo utilizadas de maneira incorreta.

Mudanças na ergonomia do produto e melhorias na intuitividade das funções de operação são mudanças de projeto que elevam a experiência do usuário com o produto e causam uma maior percepção de valor

A **geração de indicadores** traz conhecimento que auxilia na tomada de decisões. Alguns indicadores dependem das circunstâncias de operação do equipamento e, portanto, variam em relação ao valor estabelecido pelo fabricante. Por meio dos indicadores, o fabricante é capaz de investigar problemas e eventualmente reprojetar o equipamento. Além disso, o próprio gestor dos equipamentos pode identificar possíveis melhorias em processos a fim de atingir determinadas metas.

Os indicadores de volume de emissão de gases e materiais particulados e podem ser usados em auditoriais para adequação às condições legais e regulatórias do país e/ou para atender às condições de saúde e bem estar do trabalhador.

A eficiência Global do Equipamento (*Overall equipment effectiveness - OEE*), o volume de emissão de gases do efeito estufa e materiais particulados e o consumo energético e eficiência energética são outros exemplos de indicadores a serem gerados e atualizados instantaneamente pelos próprios produtos.

5.2.2 Uso da MDP na melhoria operacional do produto

A fase “instância” ocorre com a produção e venda de um produto que é feita a partir de um “tipo” de ativo (BADER et al., 2019). As informações específicas sobre produção, logística e qualidade são associadas às “instâncias” dos ativos.

Nesta fase o produto está em produção, o que significa que o usuário está ativamente utilizando o produto/equipamento em sua empresa. Os dados de uso da instância podem ser compartilhados com outros parceiros da cadeia de valor.

A análise de dados da MDP pode trazer benefícios às “instâncias” sem necessariamente alterar seu projeto (alterar seu tipo), ou seja, são benefícios operacionais agregados ao produto.

A partir das classificações de funções e capacidades dos produtos apresentadas por Porter e Heppelmann (2014) e Porter e Heppelmann (2015), foi feito um mapeamento das funções relacionadas às melhorias operacionais do produto, criando uma nova classificação baseada nos dados no contexto do eixo ciclo de vida e cadeia de valor do RAMI4.0.

As funcionalidades e capacidades dos produtos no que diz respeito à melhoria operacional foram então reclassificadas sob o contexto do RAMI4.0, chegando-se às seguintes categorias:

- Manutenção do produto orientada por dados;
- Monitoramento e rastreamento em tempo real;
- Integração dos membros da cadeia de suprimentos e eficiência logística.

As categorias permitem segregar os dados de acordo com seus respectivos objetivos ao serem inseridos no projeto de um produto. Além disso, as categoriais dão indícios de possíveis informações genéricas a serem armazenadas pelo produto ao longo de seu ciclo de vida, independente do contexto/indústria na qual o produto está inserido.

A seguir são apresentadas as descrições de cada uma das categorias de funcionalidades e capacidades de produtos inteligentes no que diz respeito às melhorias operacionais:

A **manutenção do produtos orientada por dados** (*data driven*) é uma mudança de paradigma em relação à forma tradicional como a manutenção dos ativos é realizada.

Com o histórico de leitura de sensores de cada componente do ativo, estratégias de manutenção preditivas e prescritivas podem ser adotadas pelo próprio fabricante. A manutenção orientada pelos dados de uso, comparada com a manutenção tradicional, pode reduzir a incidência de falhas e trazer benefícios econômicos (O'DONOVAN et al., 2015).

Com a manutenção prescritiva, os dados empíricos e o histórico do ativo são utilizados para prescrever qual medida deve ser tomada, trazendo mais confiabilidade por meio de técnicas estatísticas. A contínua extração de dados de sensores da MDP e sua análise torna a ação de manutenção mais automatizada.

A manutenção dos produtos orientada por dados pode trazer a responsabilidade de manutenção dos produtos de uma planta para a instituição que melhor conhece os detalhes e funcionamento técnico do produto, como o fabricante ou uma empresa especializada em um determinado ativo. O uso de dados para a manutenção permite implementar um novo paradigma de detecção e correção de falhas de equipamentos industriais: a Manutenção como um Serviço (*Maintenance-as-a-Service - MaaS*) (ZOLL; JÄCK; VOGT, 2018).

O **monitoramento e rastreamento** em tempo real é possibilitado pelas leituras de coordenadas geográficas. O monitoramento e rastreamento são úteis durante o transporte de produtos entre os membros da cadeia de suprimentos. O distribuidor, por exemplo, pode ter acesso à posição exata do produto enquanto este estiver sob sua custódia.

As coordenadas geográficas garantem a rastreabilidade do produto enquanto ele se desloca ao longo da cadeia de suprimentos. A demanda de rastreabilidade surge para manter um melhor controle da cadeia produtiva, assim como repassar essas informações aos consumidores.

Outra função do rastreamento é como forma de identificar possíveis parcerias ao fabricar uma nova demanda de um produto. Ao iniciar uma ordem de fabricação/compra, o próprio produto pode se encarregar de selecionar quem irá fabricar, onde será entregue, qual empresa de transporte, custos, prazos, etc.

A **integração dos membros da cadeia de suprimentos e eficiência logística** acontece com a melhoria da comunicação entre os elos utilizando o produto como centro de interação.

A comunicação passa a acontecer por meio do módulo que representa o produto e não mais pelo contato direto entre as partes. Isso simplifica também a logística reversa do produto, como no caso de reciclagem, acionamento da garantia, *recalls* e outros.

Outro ponto de melhor integração com a utilização do produto como centro das interações é com relação à documentação do produto. O submodelo de documentação conterá todos os documentos digitais referentes ao produto. Desta forma, manuais, notas fiscais, certificados de manutenção e outros documentos podem ser escritos, lidos e atualizados pelos parceiros da CS mediante autenticação.

O compartilhamento de documentos digitais permite uma maior interação com as partes e garante que cada membro terá sempre a versão mais atualizada de um determinado documento, assim como favorece a gestão de documentos, reduzindo o uso do papel e tornando os ambientes de trabalho mais seguros, ágeis e organizados.

Os documentos representam uma conexão entre os membros da CS, portanto, comunicados, formulários de troca de produto, documentos para acionamento de garantia do produto, *recalls* e quaisquer outras operações que envolvam a logística reversa podem ser solicitados pela própria MDP.

5.3 Submodelos e propriedades para a integração da cadeia de valor

6 Considerações finais

A elaboração de uma arquitetura comum para o compartilhamento de informações do ativo é essencial para que haja consistência e interoperabilidade entre os membros da cadeia de suprimentos adotando este sistema.

Este trabalho traça um modelo de compartilhamento de informações por meio de *Web Services* utilizando como arquitetura de base o RAMI4.0, que é atualmente o principal modelo de arquitetura de referência para a Indústria 4.0.

O mapeamento das operações de um *Web Service* para o eixo “Camadas” do RAMI4.0 por meio de diagramas PFS permite a visualização dos fluxos de atividades ocorridas durante todo o processo de consumo da memória digital do produto, assim como estabelece as responsabilidades de cada camada para todo o processo.

Foi abordado também como a MDP pode contribuir na melhoria de projeto do produto e na eficiência operacional da dinâmica da cadeia de suprimentos e como isso propicia o surgimento de novos modelos de negócio baseado em dados (*data-driven*).

Uma visão da MDP sobre o eixo “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor” do RAMI4.0 é abordada, discutindo melhor o porquê e as atribuições dos AAs como “tipos” e como “instâncias”.

Por fim, são propostas possíveis informações relevantes à cadeia de suprimentos a serem salvas na MDP indicando quando esta informação devem ser armazenadas, onde e a qual cliente esta informação seria de interesse.

Referências

ACATECH. *Neue Chancen für unsere Produktion. 17 Thesen des Wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0.* Berlin: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech), 2014. Disponível em: <https://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/Industrie_4.0/Thesen_des_wissenschaftlichen_Beirats_Industrie_4.0.pdf>. Citado na página 16.

ADOLPH, L. et al. *German Standardization Roadmap: Industrie 4.0 - Version 3.* Berlin, DIN e.V., 2018. Disponível em: <www.din.de/go/roadmapindustrie40-en>. Citado 4 vezes nas páginas 23, 24, 27 e 53.

ADOLPHS, P. et al. Structure of the administration shell. continuation of the development of the reference model for the industrie 4.0 component. *ZVEI and VDI, status report*, 2016. Citado na página 55.

ADOLPHS, P. et al. *Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0).* [S.l.]: ZVEI and VDI, Status report, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 15, 27 e 69.

ALYAHYA, S.; WANG, Q.; BENNETT, N. Application and integration of an rfid-enabled warehousing management system—a feasibility study. *Journal of Industrial Information Integration*, Elsevier, v. 4, p. 15–25, 2016. Citado na página 35.

ANNUNZIATA, M. *Manufacturing-As-A-Service Platforms: The New Efficiency Revolution.* Forbes, 2019. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/marcoannunziata/2019/05/13/manufacturing-as-a-service-platforms-the-new-efficiency-revolution>>. Citado na página 43.

BADER, S. et al. *Details of the Asset Administration Shell. Part1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 2.0).* [S.l.]: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), Berlin, 2019. Citado 7 vezes nas páginas 29, 30, 31, 53, 54, 55 e 73.

BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial.* [S.l.]: Bookman Editora, 2006. Citado na página 31.

BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, Elsevier, v. 13, p. 1245–1252, 2017. Citado na página 35.

BEDENBENDER, H. et al. Examples of the asset administration shell for industrie 4.0 components - basic part. *ZVEI White Paper*, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 30, 33 e 53.

BELL, M. Service-oriented modeling. *John Wiley & Sons, Inc*, Wiley Online Library, 2008. Citado na página 39.

BIBI, F. et al. A review: Rfid technology having sensing aptitudes for food industry and their contribution to tracking and monitoring of food products. *Trends in Food Science & Technology*, Elsevier, v. 62, p. 91–103, 2017. Citado na página 35.

- BOOTH, D. et al. Web services architecture-w3c working group note 11 february 2004. *World Wide Web Consortium, article available from: http://www. w3. org/TR/ws-arch*, p. 13, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.
- BORDELEAU, F.-E.; MOSCONI, E.; SANTA-EULALIA, L. A. Business intelligence in industry 4.0: State of the art and research opportunities. In: *51st Hawaii International Conference on System Sciences*. [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 23.
- BRANDHERM, B.; KRONER, A. Digital product memories and product life cycle. In: IEEE. *2011 Seventh International Conference on Intelligent Environments*. [S.l.], 2011. p. 374–377. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 39.
- CÂNDIDO, G. et al. Generic management services for dpws-enabled devices. In: IEEE. *2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*. [S.l.], 2009. p. 3931–3936. Citado na página 39.
- CAO, H.; FOLAN, P. Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950–2009. *Production Planning & Control*, Taylor & Francis, v. 23, n. 8, p. 641–662, 2012. Citado na página 36.
- CSCMP. *Supply Chain Management Definitions and Glossary*. 2013. Disponível em: <https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx>. Citado na página 31.
- DORST, W. et al. *Implementation Strategy Industrie 4.0*. [S.l.]: Bitkom e.V., VDMA e.V., ZVEI e.V., 2016. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.
- DRATH, R.; ALEXANDER, H. Industrie 4.0: hit or hype? *Industrial Electronics Magazine*, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014. Citado na página 24.
- FAN, T. et al. Impact of rfid technology on supply chain decisions with inventory inaccuracies. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 159, p. 117–125, 2015. Citado na página 35.
- FERRIS, C. Web services architecture. *Standard, W3C World*, W3C Working Group, p. 10, 2004. Citado na página 43.
- FIELDING, R. T. *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. University of California, Irvine Irvine, 2000. v. 7. Disponível em: <<https://www.ics.uci.edu/fielding/pubs/dissertation/top.htm>>. Citado na página 43.
- FIELDING, R. T.; TAYLOR, R. N. *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. University of California, Irvine Irvine, 2000. v. 7. Disponível em: <<https://restfulapi.net/http-methods/>>. Citado na página 45.
- FRÄMLING, K. et al. Sustainable plm through intelligent products. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Elsevier, v. 26, n. 2, p. 789–799, 2013. Citado na página 70.
- GAYKO, J. *The Reference Architectural Model RAMI4.0 and the Standardization Council as an element of success for Industry 4.0*. Standardization Council Industrie 4.0, 2018. Disponível em: <<https://www.din.de/blob/271306/340011c12b8592df728bee3815ef6ec2/>>

06-smart-manufacturing-jens-gayko-data.pdf>. Citado 4 vezes nas páginas 26, 28, 29 e 30.

GERMANY. *Plattform Industrie 4.0 - Digital Transformation “Made in Germany”*. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), 2019. Disponível em: <<https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/plattform-flyer-en.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 24.

GOSEWEHR, F. et al. Specification and design of an industrial manufacturing middleware. In: IEEE. *2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. [S.l.], 2017. p. 1160–1166. Citado na página 40.

GOTTSCHALK, K. et al. Introduction to web services architecture. *IBM systems Journal*, IBM, v. 41, n. 2, p. 170–177, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

GROBA, C. et al. A service-oriented approach for increasing flexibility in manufacturing. In: IEEE. *2008 IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*. [S.l.], 2008. p. 415–422. Citado na página 40.

HAFTOR, D.; KAJTAZI, M. *What is Information Logistics?: An explorative study of the Research Frontiers of Information Logistics*. [S.l.]: Linnaeus University, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 32.

HANKEL, M.; REXROTH, B. The reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0). *ZVEI, April*, v. 410, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 28.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: IEEE. *49th Hawaii International Conference on System Sciences*. [S.l.], 2016. p. 3928–3937. Citado 6 vezes nas páginas 7, 13, 14, 21, 22 e 24.

HIRSCH-KREINSEN, H. et al. Key themes of industrie 4.0. *Plattform Industrie 4.0 - Research Council*, 2019. Disponível em: <<https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/acatech-keythemes-industrie-4-0.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

HUGOS, M. H. *Essentials of supply chain management*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 34.

IEC. *Smart manufacturing – Reference architecture model industry 4.0 (RAMI4.0)*. [S.l.]: IEC PAS 63088 - International Electrotechnical Commission, 2017. Citado na página 59.

JENSEN, K. *Coloured Petri nets - Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use*. [S.l.: s.n.], 1997. v. 3. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

KAGERMANN, H.; LUKAS, W.-D.; WAHLSTER, W. Industrie 4.0: Mit dem internet der dinge auf dem weg zur 4. industriellen revolution. *VDI nachrichten*, v. 13, n. 1, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 21.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0: Final report of the industrie 4.0 working group. *Forschungsunion: Berlin, Germany*, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 24.

KREGER, H. et al. Web services conceptual architecture (wsca 1.0). *IBM software group*, v. 5, n. 1, p. 6–7, 2001. Citado na página 41.

- LASI, H. et al. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, Springer, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014. ISSN 1867-0202. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>>. Citado 5 vezes nas páginas 12, 13, 15, 21 e 24.
- LEE, H. L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management science*, Informs, v. 43, n. 4, p. 546–558, 1997. Citado na página 33.
- LEVITT, T. Exploit the product life cycle. *Harvard business review*, v. 43, p. 81–94, 1965. Citado na página 36.
- LIU, M. J. *Managing the Marketing Risk*. 2010. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/umiss/mmm2>>. Citado na página 37.
- MARCON, P. et al. The asset administration shell of operator in the platform of industry 4.0. In: IEEE. *2018 18th International Conference on Mechatronics-Mechatronika (ME)*. [S.l.], 2018. p. 1–5. Citado na página 32.
- MIYAGI, P. E. *Controle programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos*. [S.l.]: Editora Blucher, 1996. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 47.
- MÜLBERT, A. L.; AYRES, N. M. *Fundamentos para Sistemas de Informação*. [S.l.]: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2005. Citado na página 45.
- NICHOLS, M. R. *The Rise of Manufacturing as a Service*. BOSS Magazine, 2019. Disponível em: <<https://thebossmagazine.com/manufacturing-as-a-service/>>. Citado na página 43.
- OLIVEIRA, J. B.; LIMA, R. S.; MONTEVECHI, J. A. B. Perspectives and relationships in supply chain simulation: A systematic literature review. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Elsevier, v. 62, p. 166–191, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.
- O'DONOVAN, P. et al. An industrial big data pipeline for data-driven analytics maintenance applications in large-scale smart manufacturing facilities. *Journal of Big Data*, Springer, v. 2, n. 1, p. 25, 2015. Citado na página 73.
- PAELKE, V. Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. environment. In: *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–4. ISSN 1946-0759. Citado na página 15.
- PISCHING, M. A. *Arquitetura para descoberta de equipamentos em processos de manufatura com foco na indústria 4.0*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 28.
- PISCHING, M. A. et al. An architecture based on ramí 4.0 to discover equipment to process operations required by products. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, v. 125, p. 574–591, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.029>>. Citado na página 46.
- PISCHING, M. A. et al. Pfs/pn technique to model industry 4.0 systems based on ramí 4.0. In: IEEE. *2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. [S.l.], 2018. v. 1, p. 1153–1156. Citado na página 47.

- Plattform Industrie 4.0. *Details of the Administration Shell - From idea to implementation.* Plattform Industrie 4.0, 2019. Disponível em: <<https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/vws-in-detail-presentation.html>>. Citado na página 30.
- PORTER, M. E. Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance. *Competitive advantage*, v. 167, p. 167–206, 1985. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.
- PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How smart, connected products are transforming competition. *Harvard business review*, v. 92, n. 11, p. 64–88, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 70, 71 e 73.
- PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How smart, connected products are transforming companies. *Harvard business review*, v. 93, n. 10, p. 96–114, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 71 e 73.
- PORTER, M. E.; KRAMER, M. R. Criação de valor compartilhado. *Harvard Business Review*, v. 89, n. 1/2, p. 62–77, 2011. Citado na página 35.
- RÜßMANN, M. et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, v. 9, n. 1, p. 54–89, 2015. Citado na página 25.
- SCHMITTNER, C. et al. Practical safe, secure and reliable machine-to-machine connectivity for cyber-physical-production systems. In: IEEE. *2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. [S.l.], 2017. p. 1–4. Citado na página 23.
- SCHWAB, K. *The fourth industrial revolution*. [S.l.]: Currency, 2016. Citado na página 22.
- SIEPEN, S. *Manufacturing-as-a-Service*. LinkedIn articles, 2019. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/manufacturing-as-a-service-sven-siepen/>>. Citado na página 43.
- SOUIT, S. *Orquestração de sistemas produtivos dispersos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 39, 40 e 41.
- STARK, J. Product lifecycle management. In: *Product lifecycle management (Volume 1)*. [S.l.]: Springer, 2015. p. 1–29. Citado na página 37.
- STRANDHAGEN, J. O. et al. Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. *Advances in Manufacturing*, Springer, v. 5, n. 4, p. 359–369, 2017. Citado na página 36.
- TRAPPEY, C. V.; WU, H.-Y. An evaluation of the time-varying extended logistic, simple logistic, and gompertz models for forecasting short product lifecycles. *Advanced Engineering Informatics*, Elsevier, v. 22, n. 4, p. 421–430, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 36.
- VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 - a glimpse. *Procedia Manufacturing*, Elsevier, v. 20, p. 233–238, 2018. Citado na página 23.
- VLACHOS, I. P. A hierarchical model of the impact of rfid practices on retail supply chain performance. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 41, n. 1, p. 5–15, 2014. Citado na página 35.

- WAHLSTER, W. Digital product memory: Embedded systems keep a diary. *Harting tec. News*, v. 15, p. 7–9, 2007. Citado 5 vezes nas páginas 12, 15, 38, 39 e 71.
- WAHLSTER, W. *Industrie 4.0: Active Semantic Product Memories for Smart Factories*. [S.l.]: IDA 30th Year Celebration Seminar Linköping, 2013. Citado na página 22.
- WAHLSTER, W. *SemProM: Foundations of Semantic Product Memories for the Internet of Things*. [S.l.]: Springer, 2013. Citado na página 15.
- WEYER, S. et al. Towards industry 4.0-standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *Ifac-Papersonline*, Elsevier, v. 48, n. 3, p. 579–584, 2015. Citado na página 15.
- Ye, X.; Hong, S. H. Toward industry 4.0 components: Insights into and implementation of asset administration shells. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, v. 13, n. 1, p. 13–25, March 2019. ISSN 1941-0115. Citado na página 29.
- ZOLL, M.; JÄCK, D.; VOGT, M. W. Evaluation of predictive-maintenance-as-a-service business models in the internet of things. In: IEEE. *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*. [S.l.], 2018. p. 1–9. Citado na página 74.
- ZÜHLKE. *Push digital innovation*. 2020. Disponível em: <<https://www.zuehlke.com/at/en/industries/machinery-electronics-and-metal-industries/>>. Citado na página 38.