

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

HENRIQUE ABRANTES VITOI

**Integração da memória digital de produto ao RAMI4.0 para monitoramento
de ativos ao longo da cadeia de valor**

São Paulo

2020

HENRIQUE ABRANTES VITOI

**Integração da memória digital de produto ao RAMI4.0 para monitoramento
de ativos ao longo da cadeia de valor**

Versão original

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Engenharia de Controle e Automação Mecânica

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em _____ de _____ de _____. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da POLI-USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Junqueira

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

São Paulo

2020

Ficha catalográfica

Dissertação de autoria de Henrique Abrantes Vitoi, sob o título “**Integração da memória digital de produto ao RAMI4.0 para monitoramento de ativos ao longo da cadeia de valor**”, apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, na área de concentração Engenharia de Controle e Automação Mecânica, aprovada em _____ de _____ de _____ pela comissão julgadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr. -----

Instituição: -----

Presidente

Prof. Dr. -----

Instituição: -----

Prof. Dr. -----

Instituição: -----

Prof. Dr. -----

Instituição: -----

Resumo

VITOI, Henrique Abrantes. **Título do trabalho:** Integração da memória digital de produto ao RAMI4.0 para monitoramento de ativos ao longo da cadeia de valor. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

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) ao eixo horizontal “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor”, 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* composta por quatro elos: O Componente I4.0, o Repositório, a MDP e o Cliente. 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-chaves: Indústria 4.0. RAMI4.0. Memória digital do produto. Cadeia de Valor. Ciclo de vida do produto.

Abstract

VITOI, Henrique Abrantes. **Work title:** work subtitle. 2020. 64 p. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, DefenseYear.

Abstract here

Keywords: Industry 4.0. RAMI4.0. Digital product memory. Value Chain. Product life cycle.

Lista de figuras

Figura 1 – Exemplo de cadeia de suprimentos estendida.	12
Figura 2 – Cadeia de valor de Porter.	13
Figura 3 – Estágios do ciclo de vida do produto.	14
Figura 4 – Modelo de ciclo de vida do produto com renovação do produto.	15
Figura 5 – As revoluções industriais.	16
Figura 6 – Representação do RAMI4.0.	18
Figura 7 – Coleta de dados do produto ao longo da cadeia de valores.	19
Figura 8 – Temas-chave de pesquisa e desenvolvimento em I4.0.	22
Figura 9 – Metodologia de pesquisa utilizada.	24
Figura 10 – Evolução do grau de complexidade da indústria por meio das revoluções industriais.	27
Figura 11 – Transição do modelo hierárquico tradicional (a)) para o modelo flexível de comunicação entre dispositivos na Indústria 4.0 (b).	29
Figura 12 – Avanços tecnológicos que moldam a I4.0.	30
Figura 13 – Eixo Camadas do RAMI4.0.	33
Figura 14 – Eixo Níveis Hierárquicos do RAMI4.0.	33
Figura 15 – Eixo Ciclo de Vida e Cadeia de Valor do RAMI4.0.	34
Figura 16 – Representação do AAS como a parte virtual do Componente I4.0.	35
Figura 17 – Exemplificação de um AAS para um servomotor, incluindo os submodelos de dados técnicos, dados operacionais e documentação.	36
Figura 18 – Comunicação entre AAS de objetos I4.0.	37
Figura 19 – Exemplo de detalhamento de função no AAS por meio de submodelos.	38
Figura 20 – Submodelos públicos e restritos de um AAS.	43
Figura 21 – Repositório com referências aos AAS's.	45
Figura 22 – Repositório com referências aos AAS's.	46
Figura 23 – Formato de intercâmbio de informações da MDP em JSON.	48
Figura 24 – Comunicação AAS-MDP.	50
Figura 25 – Comunicação Cliente-MDP.	51
Figura 26 – Comunicação Cliente-MDP.	52
Figura 27 – Ciclo de vida do produto.	55

Lista de tabelas

Tabela 1 – Princípios para implantação da I4.0 baseados em Hermann, Pentek e Otto (2016)	17
Tabela 2 – Eixos do RAMI4.0	32
Tabela 3 – Métodos HTTP e suas correspondentes ações em um serviço REST. . .	41
Tabela 4 – Caracterização dos submodelos públicos e restritos.	44
Tabela 5 – Os quatro elos do modelo estrutural de acesso de informações.	47
Tabela 6 – Cronograma detalhado de atividades	59

Lista de abreviaturas e siglas

AAS	<i>Asset Administration Shell</i> (Camada Administrativa do Ativo)
CS	Cadeia de Suprimentos
CV	Cadeia de Valor
CVP	Ciclo de Vida do Produto
GCVP	Gestão do Ciclo de Vida do Produto
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)
MDP	Memória Digital do Produto
OSI	<i>Open System Interconnection</i> (Interconexão aberta de sistemas)
RAMI4.0	<i>Reference Architectural Model Industrie 4.0</i> (Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0)
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i> (Arquitetura Orientada a Serviços)
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UUID	<i>Universal Unique Identifier</i> (Identificador Único Universal)

Sumário

1	Introdução	11
1.1	<i>Indústria 4.0</i>	15
1.2	<i>Memória Digital do Produto</i>	19
1.3	<i>Interrelação entre I4.0 e MDP</i>	20
1.4	<i>Objetivos da pesquisa</i>	23
2	Metodologia	24
3	Fundamentos	26
3.1	<i>Gestão do ciclo de vida do produto</i>	26
3.2	<i>Indústria 4.0</i>	27
3.2.1	Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0	32
3.2.2	Asset Administration Shell	35
3.3	<i>Memória digital do produto</i>	38
3.4	<i>Virtualização em nível de sistema operacional</i>	39
3.5	<i>Service oriented architectures (SOA)</i>	39
3.6	<i>RESTful Web Services</i>	40
4	Arquitetura baseada em REST para compartilhamento de informações do ativo entre as partes na Cadeia de Suprimentos	42
4.0.1	Estrutura do AAS e seus submodelos	42
4.0.2	O repositório e a descoberta de AAS's	44
4.0.3	Os quatro elos no compartilhamento de informações na CS	46
4.0.4	Estrutura de dados da MDP	47
5	Acesso à MDP pelo AAS e Cliente	49
5.0.1	A comunicação AAS - MDP	49
5.0.2	A comunicação Cliente - MDP	50
5.0.3	Interação AAS-MDP-Cliente	51
5.0.4	O MDP e as Camadas do RAMI4.0	52
6	A MDP e o ciclo de vida do produto	54

6.0.1	Distinção de tipo e instância de um ativo	54
6.0.2	Desenvolvimento do produto orientado a dados	55
6.0.3	Manutenção do produto orientado a dados	56
7	Aplicação	57
7.0.1	Repositório (API REST)	57
7.0.2	MDP (Banco de dados Mongo)	57
7.0.3	Cliente (Página Web)	57
7.0.4	AAS (Raspberry PI com cliente e servidor OPC UA)	57
8	Publicações decorrentes do trabalho	58
9	Cronograma detalhado	59
10	Conclusão	60
	Referências¹	61

¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

1 Introdução

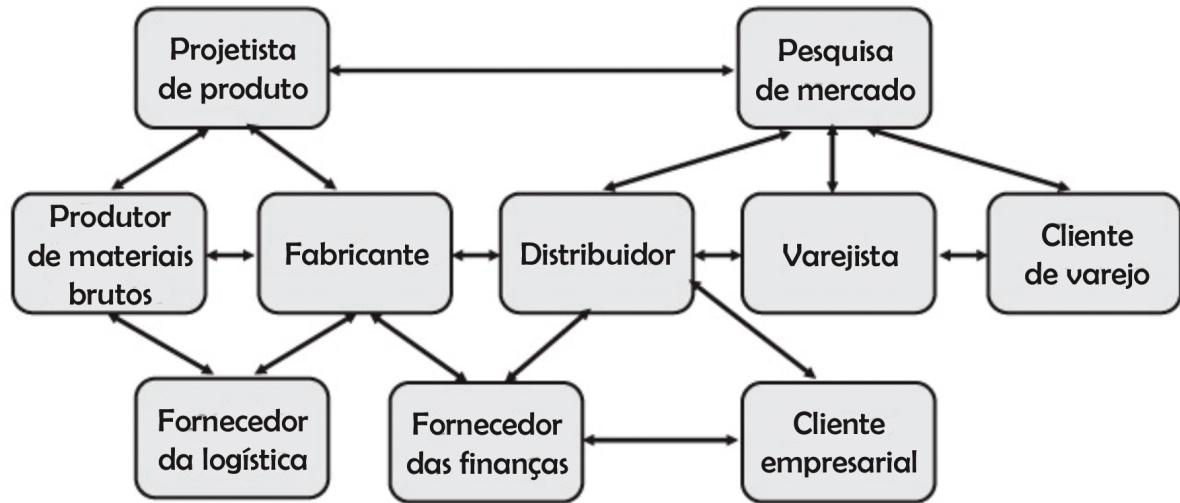
O cenário atual de comércio em um mundo intrinsecamente globalizado requer eficiência em troca de informações, serviços e mercadorias; ou seja, eficiência logística. A logística é a essência do comércio (BALLOU, 2006), ela contribui para que pessoas não mais sejam obrigadas a viver perto das fontes de produção e possam trocar mercadorias com outras regiões de forma efetiva, contribuindo decisivamente para melhorar o padrão econômico de vida geral.

A logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo 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 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 se 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 se 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 ampliam a noção de CS para uma cadeia de suprimentos estendida, que inclui 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 1 exemplifica a inter-relação das partes em uma cadeia de suprimentos estendida.

Figura 1 – Exemplo de cadeia de suprimentos estendida.



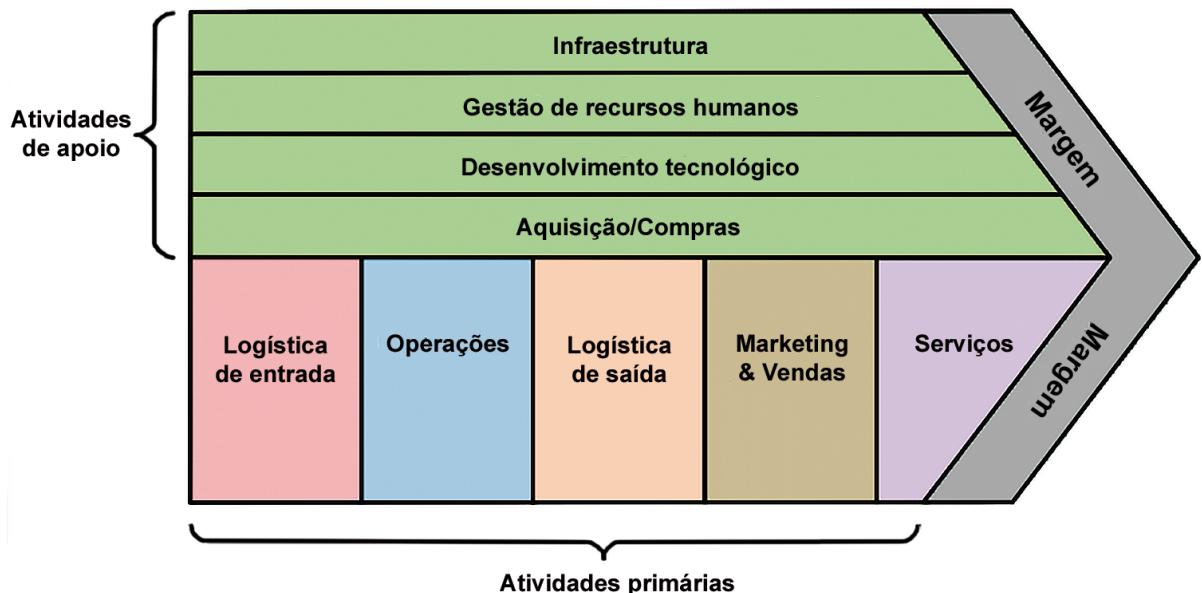
Fonte: Hugos (2018) (adaptado).

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

Uma cadeia de valor (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 2).

Figura 2 – Cadeia de valor de Porter.



Fonte: Porter (1985) (adaptado).

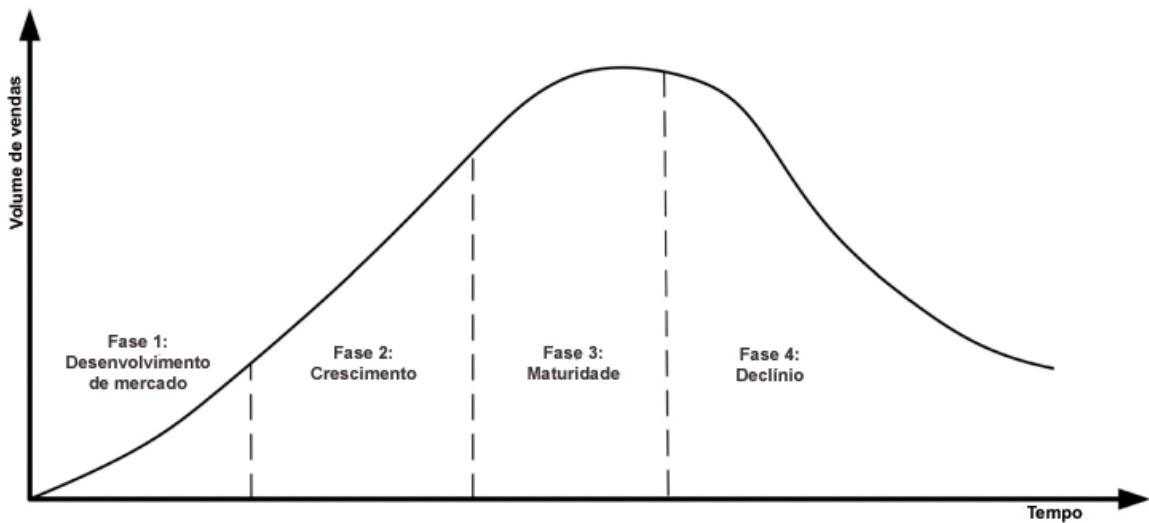
As CVs estão focadas em fornecer o máximo valor ao cliente (valor perceptível) com o menor custo e, portanto, é um indicador para a competitividade da empresa. Com o crescente acirramento da competição entre as empresas, essas devem procurar novas formas de agregar mais valor perceptível aos seus produtos, 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 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.

Atrelado à cadeia de suprimentos e à cadeia de valor existe o conceito de ciclo de vida do produto, que foi um conceito 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 ao 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 3.

Figura 3 – Estágios do ciclo de vida do produto.

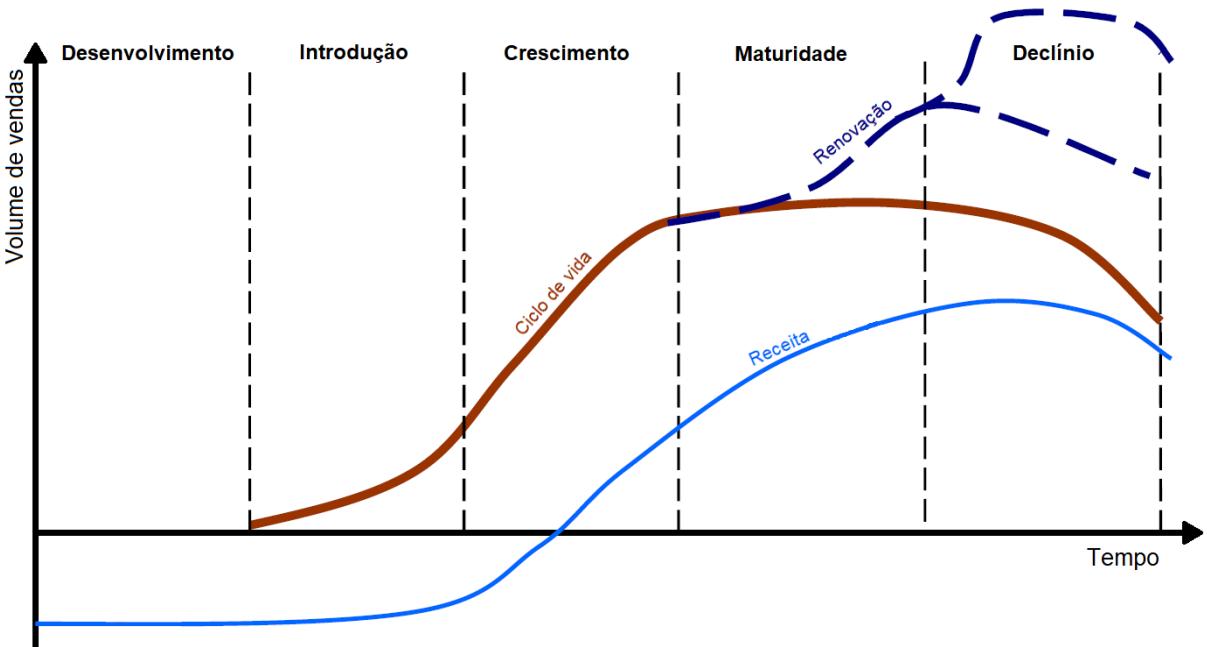


Fonte: Levitt (1965) (adaptado).

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 4 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 4 – Modelo de ciclo de vida do produto com renovação do produto.



Fonte: Liu (2010) (adaptado).

Novas propostas de modificações de processos industriais aparecem como formas de se agregar mais valor ao produto/serviço considerando os ciclos de vida do produto cada vez mais curtos. Duas linhas de pesquisas criadas recentemente buscam trazer soluções para os problemas contemporâneos da indústria, como os listados anteriormente, que são os conceitos de Indústria 4.0 (I4.0) e Memória Digital do Produto (MDP).

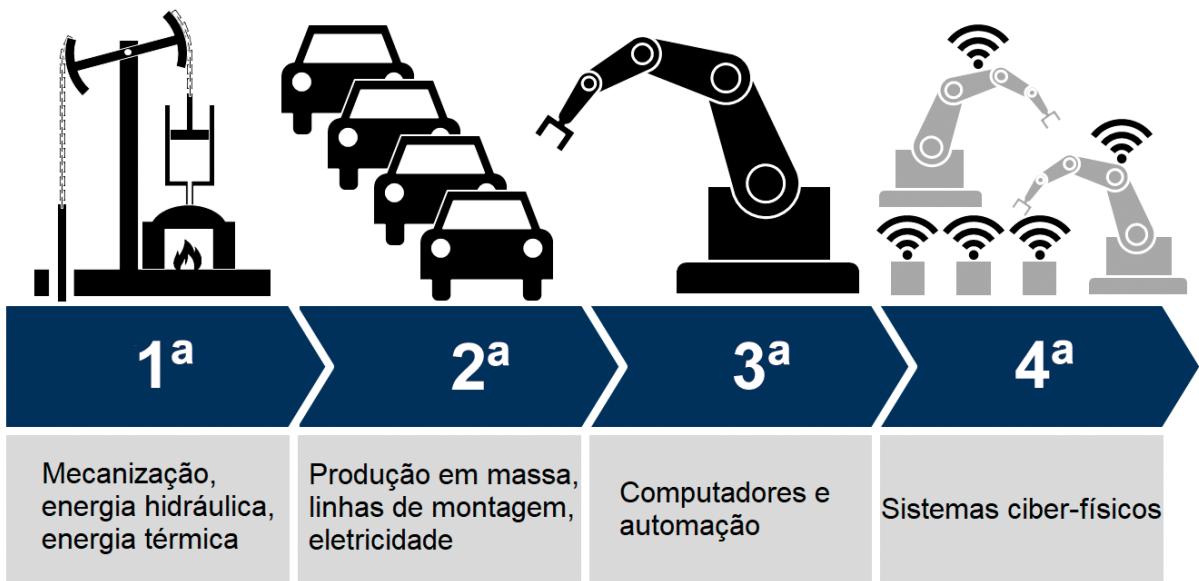
I4.0 e a MDP são conceitos altamente correlacionados, porém ainda não amplamente abordados em conjunto na literatura, criando assim uma oportunidade de pesquisa a partir de uma lacuna existente.

1.1 Indústria 4.0

A crescente integração das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) às cadeias de valor industriais criou as bases para a próxima revolução industrial chamada Indústria 4.0 (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 5.

Figura 5 – As revoluções industriais.



Fonte: Lasi *et al.* (2014) (adaptado).

Tais modificações na indústria são essenciais devido às novas necessidades da própria indústria e de mudança de padrões de consumo do mercado. Isto acarreta mudanças 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 intensivo em sustentabilidade, o que decorre em uma maior racionalidade (ou eficiência) na utilização dos recursos.

Embora o termo I4.0 seja bastante comum na discussão tecnológica atual, muitas empresas, centros de pesquisa e universidades não mantém uma definição comum sobre o assunto. Segundo Hermann, Pentek e Otto (2016) e com base em uma revisão de literatura feita pelo mesmo autor, a I4.0 é identificada por quatro princípios de projeto para sua implementação, conforme listados na Tabela 1.

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

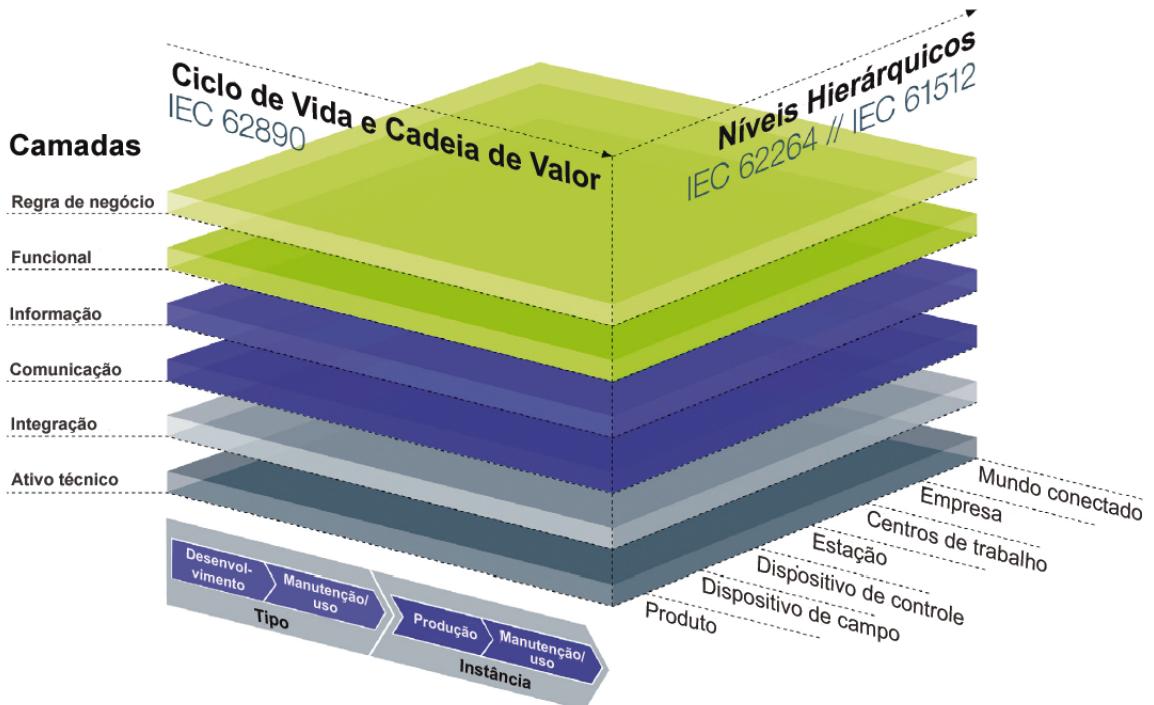
Princípio	Descrição
Interoperabilidade	Capacidade das coisas (máquinas, dispositivos, sensores, pessoas, etc) de comunicarem entre si dentro de um sistema por meio de padrões definidos.
Transparência de informação	Tornar acessíveis informações úteis para os demais dispositivos conectados à rede. Informações 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	Tomada de decisões baseadas nas informações coletadas pelo próprio dispositivo da 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 visualizável as informações de maneira comprehensível.

Fonte: O autor.

Os princípios elencados na Tabela 1 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, 2017). 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 requer uma representação tridimensional, conforme a Figura 6. 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).

Figura 6 – Representação do RAMI4.0.



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

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

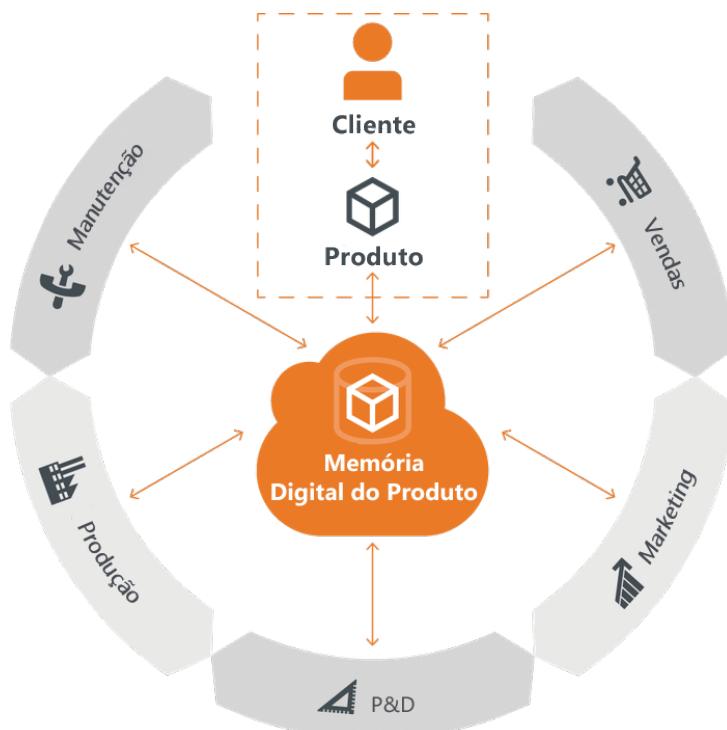
e deve ser aceito e usados por todos os participantes para protótipo, desenvolvimento e validação.

1.2 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 valor, o que abrange dados de produção individual, de montagem, de distribuição, de uso por parte do consumidor, etc. A Figura 7 ilustra o conceito de MDP.

Figura 7 – 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.

A implementação de uma memória com informações sobre produto ao longo de sua cadeia de valores é importante, pois torna possível acessar e utilizar informações do mundo real providenciada por diferentes fontes ao longo da cadeia de suprimentos para o potencial benefício das partes interessadas naquele produto (BRANDHERM; KRONER, 2011), como, por exemplo, fabricantes, transportadores, varejistas e consumidores.

1.3 Interrelação entre I4.0 e MDP

Ambos os conceitos de I4.0 e MDP são conceitos 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 estratégica 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 divulgada 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, 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, especificamente ao eixo de “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor”, 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, 2019b). 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 8. Isso significa que os tópicos elencados são temas com alto potencial para a otimização de rotinas e processos de produção existentes no cenário de I4.0.

Figura 8 – Temas-chave de pesquisa e desenvolvimento em I4.0.



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

Dentre os temas elencados na Figura 8, 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.

1.4 Objetivos da pesquisa

O objetivo do trabalho de pesquisa é a investigação da integração do conceito de MDP ao RAMI4.0, especificamente ao eixo de “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor”, 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.

Todo o estudo é feito com a proposta de aperfeiçoar o RAMI4.0 no sentido de propiciar o surgimento de novos cenários de criação de valor no contexto de I4.0 e incentivar geração de novos modelos de negócio baseado em dados.

Este plano de pesquisa envolve o estudo de diversos temas relacionados à Indústria 4.0. Os principais itens estão explicitados a seguir. Diversos novos itens são adicionados ao foco de pesquisa à medida que há aprofundamento nos itens abaixo.

- Indústria 4.0;
- RAMI4.0;
- Cadeia de valor;
- Ciclo de vida do produto;
- Memória digital do produto;
- Internet das coisas.

Tais temas são estudados a fim de se analisar o estado da arte atual em I4.0 e a partir disso propor alterações sobre o RAMI4.0 incluindo o conceito de MDP.

2 Metodologia

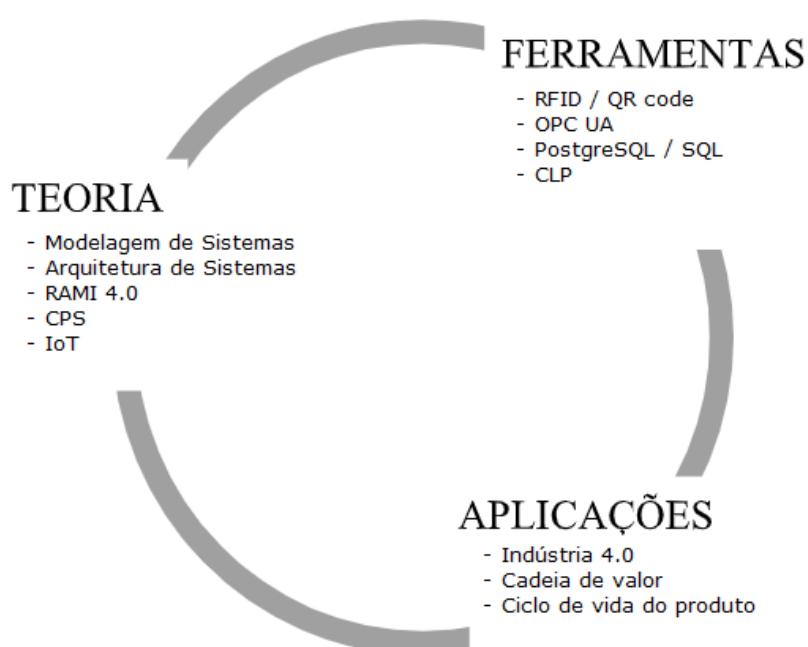
O trabalho é executado a partir de revisão bibliográfica de textos acadêmicos, como dissertações e teses, artigos publicados em revistas acadêmicas, livros teóricos e notas de estudos técnicos. A revisão bibliográfica tem o objetivo de se inteirar do estado da arte das tecnologias envolvidas na Indústria 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 será baseada naquela proposta por Jensen (1997), onde as etapas de pesquisa são compostas por um ciclo repetitivo de três aspectos, sendo elas as teorias, ferramentas e aplicações, conforme ilustrado na Figura 9.

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 9 – Metodologia de pesquisa utilizada.



Fonte: Jensen (1997) (adaptado).

Aplicando-se a metodologia proposta por Jensen (1997) para o caso específico do plano de pesquisa em questão, pode-se listar teorias, ferramentas e aplicações individuais do projeto, formando-se o ciclo mostrado na Figura 9. Os três aspectos identificados na Figura 9 devem evoluir simultaneamente, recondicionando-se mutuamente.

3 Fundamentos

3.1 Gestão do ciclo de vida do produto

A gestão do ciclo de vida do produto (GCVP) refere-se ao manuseio de um bem ao longo de seu caminho pelos estágios típicos de sua vida útil: desenvolvimento e introdução, crescimento, maturidade / estabilidade e declínio, conforme observado na Figura 3. No GCVP, o manuseio se refere às etapas de fabricação, comercialização, uso e qualquer outra fase em que o produto se encontra. A GCVP tem como finalidade auxiliar gestores na tomada de decisões de negócios com estratégias como políticas de preços, expansão de mercado, retirada do produto ou inserção de novas versões, etc.

GCVP é o sistema de gerenciamento dos produtos de uma empresa. Sua função não é gerenciar apenas um de seus produtos, mas gerenciar de maneira integrada todas as suas partes assim como o portfólio de produtos da empresa (STARK, 2015).

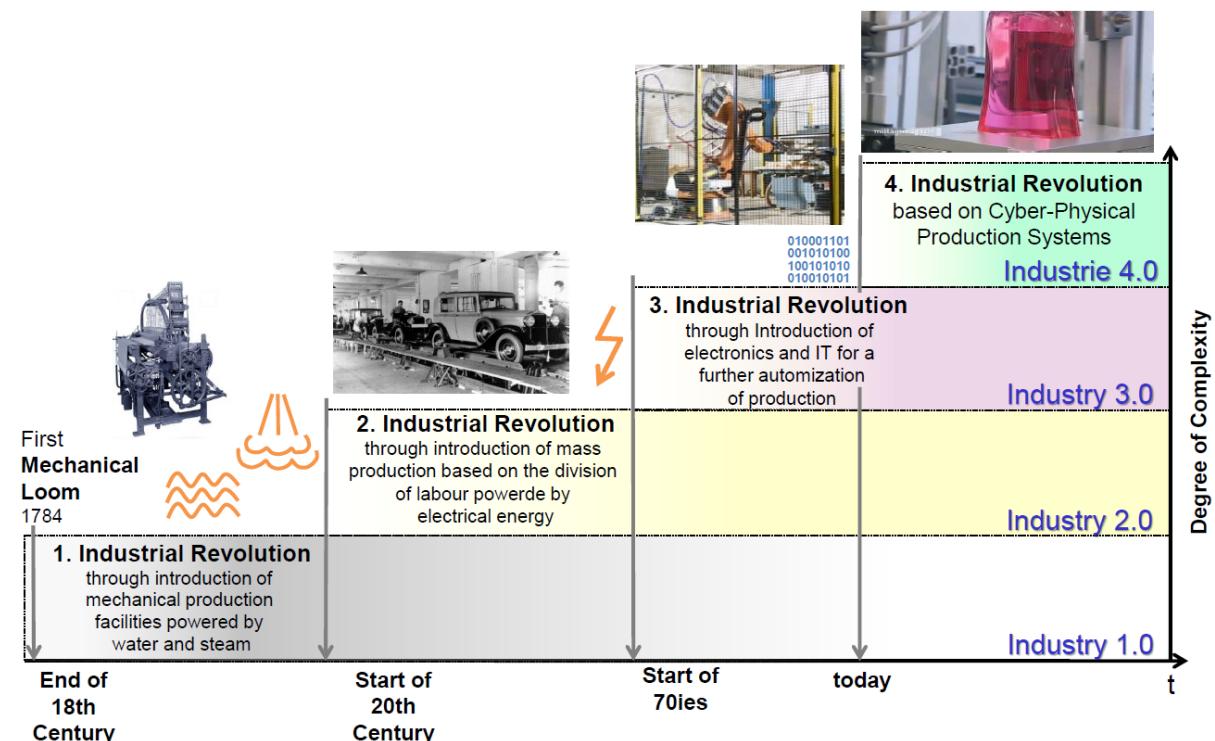
Em nível mais alto, o objetivo do GCVP é aumentar as receitas do produto, reduzir os custos relacionados ao produto, maximizar o valor do portfólio de produtos e maximizar o valor dos produtos atuais e futuros para clientes e acionistas (STARK, 2015).

3.2 Indústria 4.0

Indústria 4.0 (I4.0) é o nome dado às recentes modificações em relação às tecnologias utilizadas em processos industriais. Tais tecnologias são inseridas com o propósito de se oferecer um alto nível de automação e intercâmbio de informações entre equipamentos e produtos.

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 (1^a revolução industrial), com relação ao intenso uso da energia elétrica (2^a revolução industrial) e com a expansão da digitalização (3^a revolução industrial) (LASI *et al.*, 2014). Tal histórico de revoluções no campo da indústria é ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Evolução do grau de complexidade da indústria por meio das revoluções industriais.



Fonte: Wahlster (2013a)

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.

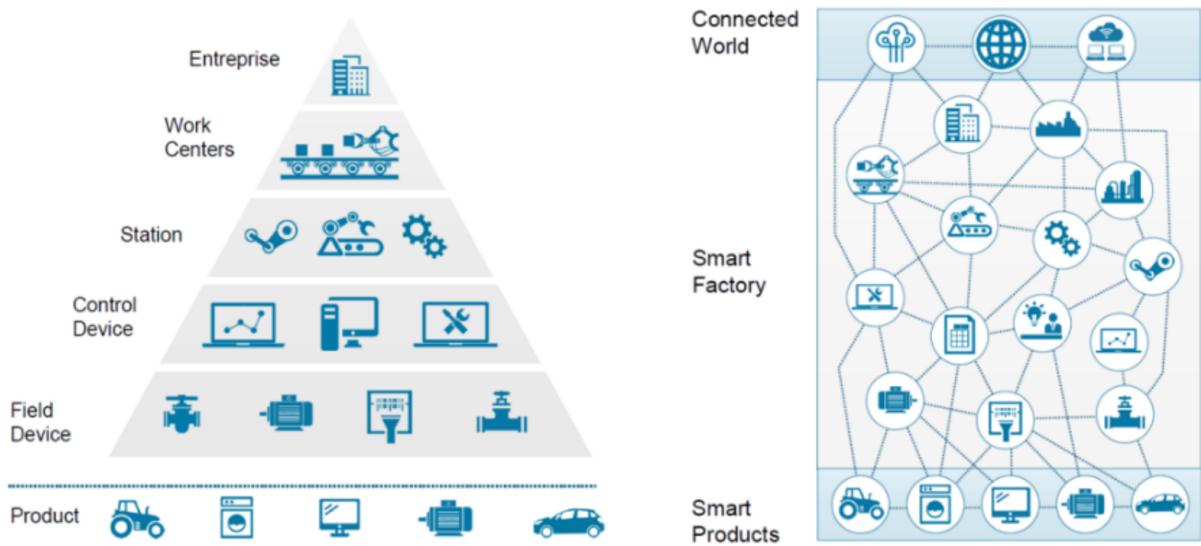
Por vezes, a I4.0 é tratada também como a convergência da produção industrial com as novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

A quarta revolução industrial já está em curso segundo Fórum Mundial Econômico (SCHWAB, 2016) em seu encontro anual realizado em Davos no ano de 2016 e as razões para o surgimento deste novo paradigma de produção incluem: a competição acirrada entre empresas, alta complexidade de manufatura dos produtos e seus altos níveis de personalização do produto por parte dos clientes (BORDELEAU; MOSCONI; SANTA-EULALIA, 2018; VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018).

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

Esses ativos são inseridos no meio digital, onde podem trocar informações entre si e executarem comandos de funções sob seu respectivo correspondente físico 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 comunicarem diretamente com outros elementos de diferentes níveis, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Transição do modelo hierárquico tradicional (a) para o modelo flexível de comunicação entre dispositivos na Indústria 4.0 (b).



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

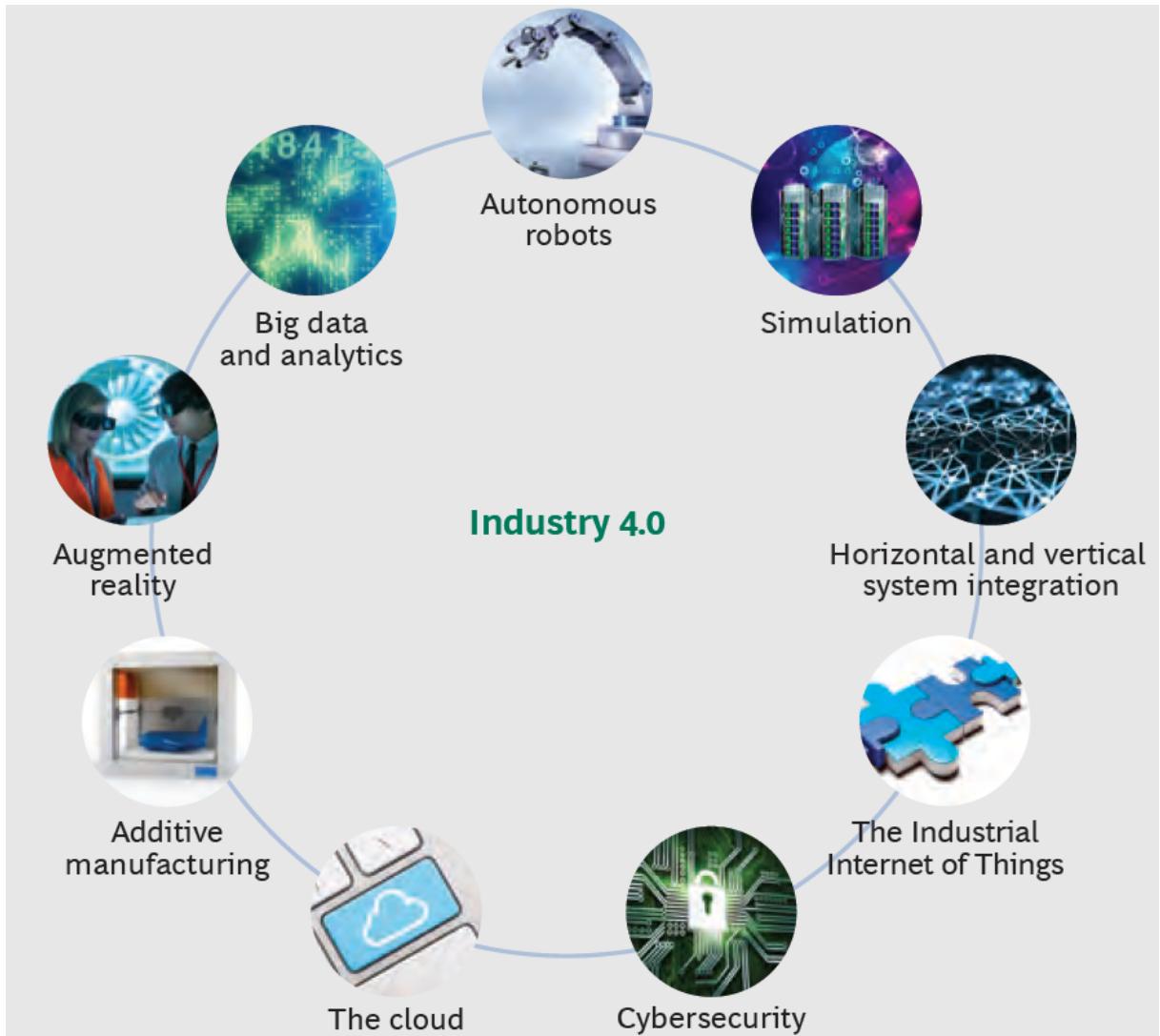
Essa automatização e a troca de informações entre os ativos tem grande potencial de dar mais eficiência aos processos industriais, pois desta forma o sistema pode tomar decisões ótimas com base nas informações que lhe foram fornecidas por meio de sensores e identificadores. A visão para o futuro da produção 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 devida à rápida introdução de novas tecnologias para satisfazer a demanda dos clientes, especialmente em produtos eletrônicos (TRAPPEY; WU, 2008). A I4.0 beneficia a chegada de produtos com curto ciclo de vida uma vez que o produto controla seu próprio processo de fabricação, beneficiando assim ajustes e personalização 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 diversas. 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 12.

Figura 12 – Avanços tecnológicos que moldam a I4.0.



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

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, 2019b) 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 o “*Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*” (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013), o “*German Standardization Roadmap - Industrie 4.0*” (ADOLPH *et al.*, 2018) e o “*Implementation Strategy Industrie 4.0*” (BITKOM; VDMA; ZVEI, 2016) publicados em inglês com normas e diretrizes para a implementação da I4.0. Esta iniciativa atrelada ao entusiasmo acadêmico em torno do projeto I4.0 disseminaram 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 deve ser enorme, pois a I4.0 promete uma eficiência operacional substancialmente maior, bem como o desenvolvimento de modelos, serviços e produtos de negócios 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 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 por meio de sua consolidação como mercado líder e fornecedor de soluções para a Indústria 4.0.

3.2.1 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 6 mostra a representação do RAMI4.0 e especifica os itens contidos em cada eixo. A Tabela 2 detalha a função de cada eixo do RAMI4.0.

Tabela 2 – Eixos do RAMI4.0

Eixo	Descrição
Camadas	As seis camadas no eixo vertical servem para descrever a decomposição de um ativo em suas propriedades, isto é, o mapeamento virtual de um ativo. Tais representações se originam da tecnologia da informação e comunicação, onde as propriedades 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” se torna uma “instância” quando o projeto e a prototipagem são concluídos e o produto real está sendo fabricado.
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. Esses níveis hierárquicos representam as diferentes funcionalidades das fábricas ou instalações. Para representar o ambiente I4.0, essas funcionalidades foram expandidas para incluir o produto da manufatura, rotuladas como “Produto”, e a conexão com a IoT, denominada “Mundo conectado”.

Fonte: O autor.

A Figura ?? mostra o eixo Camadas do RAMI4.0.

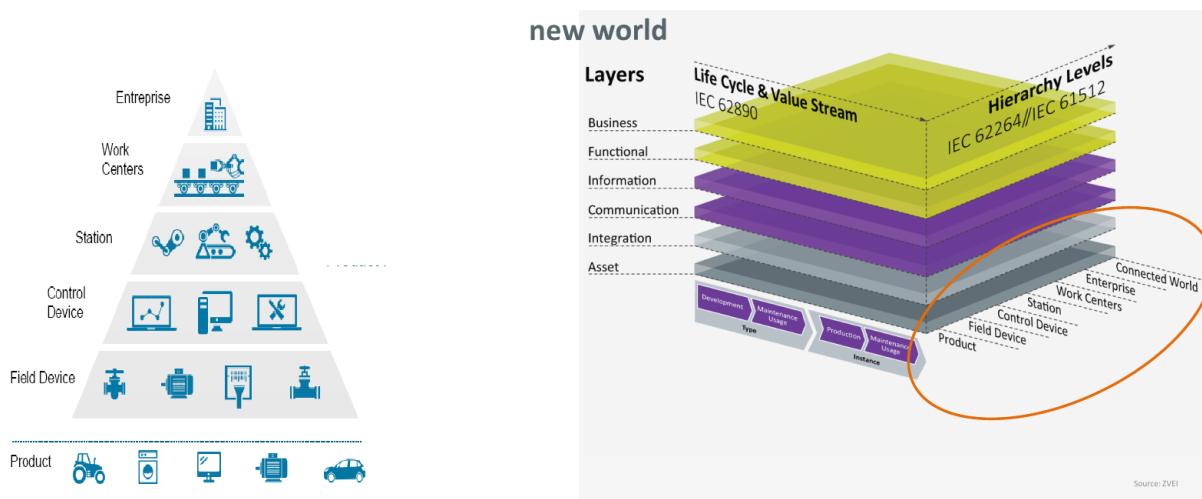
Figura 13 – Eixo Camadas do RAMI4.0.



Fonte: Germany (2018) (adaptado).

A Figura 14 mostra o eixo Níveis Hierárquicos do RAMI4.0.

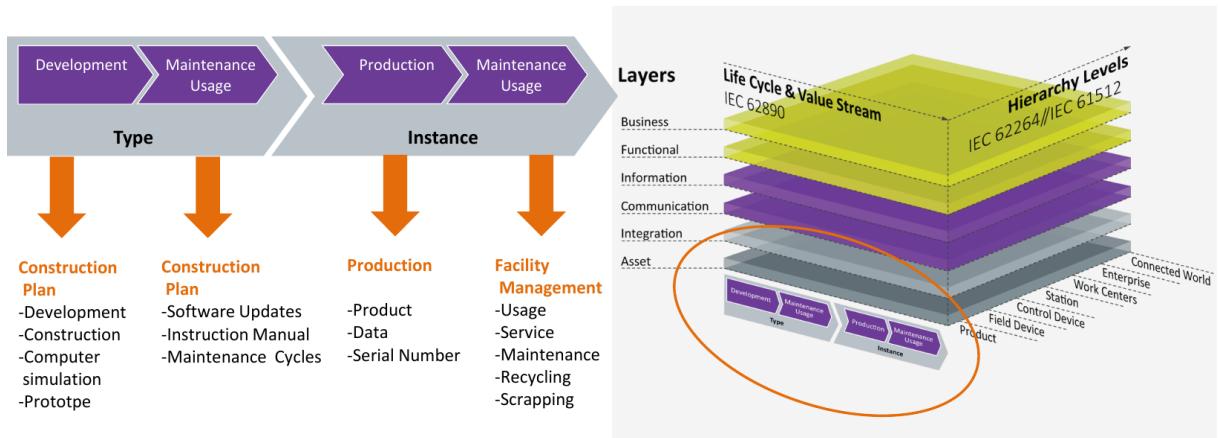
Figura 14 – Eixo Níveis Hierárquicos do RAMI4.0.



Fonte: Germany (2018) (adaptado).

A Figura 15 mostra o eixo Ciclo de Vida e Cadeia de Valor do RAMI4.0.

Figura 15 – Eixo Ciclo de Vida e Cadeia de Valor do RAMI4.0.



Fonte: Germany (2018) (adaptado).

Dentro desses três eixos, todos os aspectos cruciais da I4.0 podem ser mapeados, permitindo que objetos como máquinas sejam classificados 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 para o mundo da Indústria 4.0.

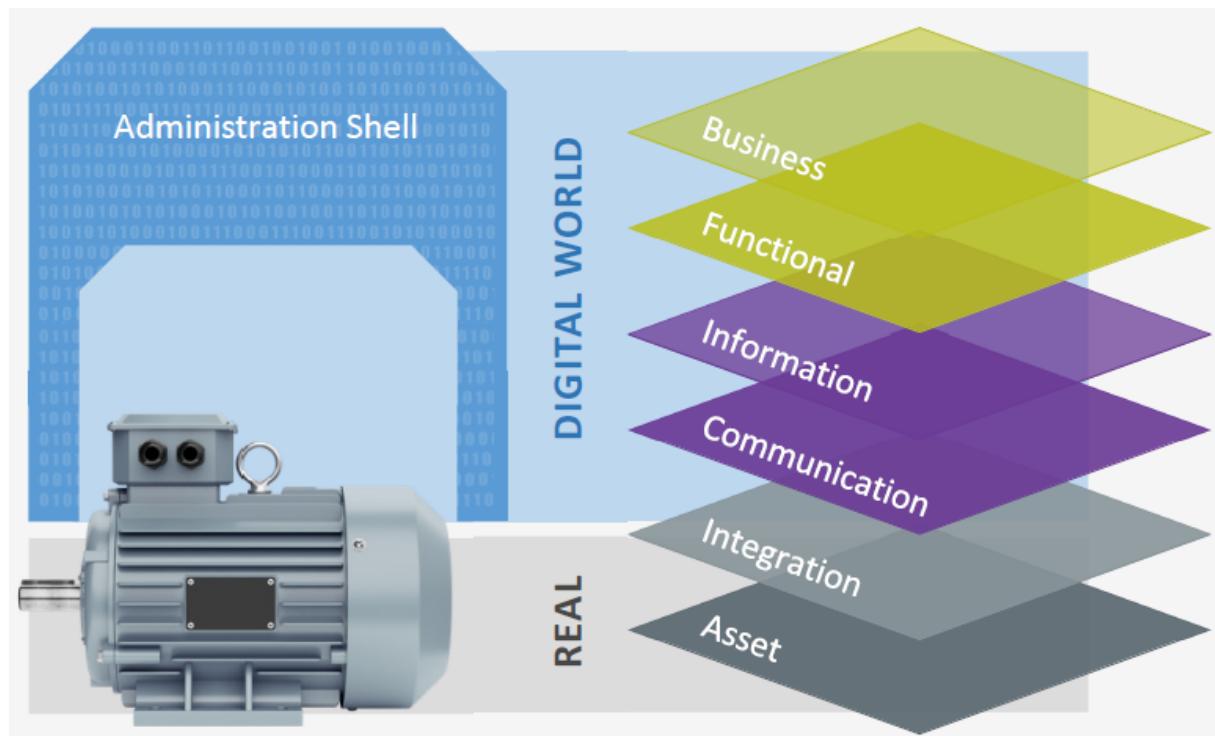
3.2.2 Asset Administration Shell

Um ativo é qualquer coisa que precise ser conectada para agregar valor a um processo industrial (ZVEI, 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, também chamada de *Administration Shell*. O *Administration Shell* do ativo técnico é denominado “*Asset Administration Shell*” (AAS).

Fazendo uma associação ao RAMI4.0, o AAS engloba as camadas digitais, sendo elas: Comunicação, Informação, Funcional e Regra de Negócio; 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 16.

Figura 16 – Representação do AAS como a parte virtual do Componente I4.0.

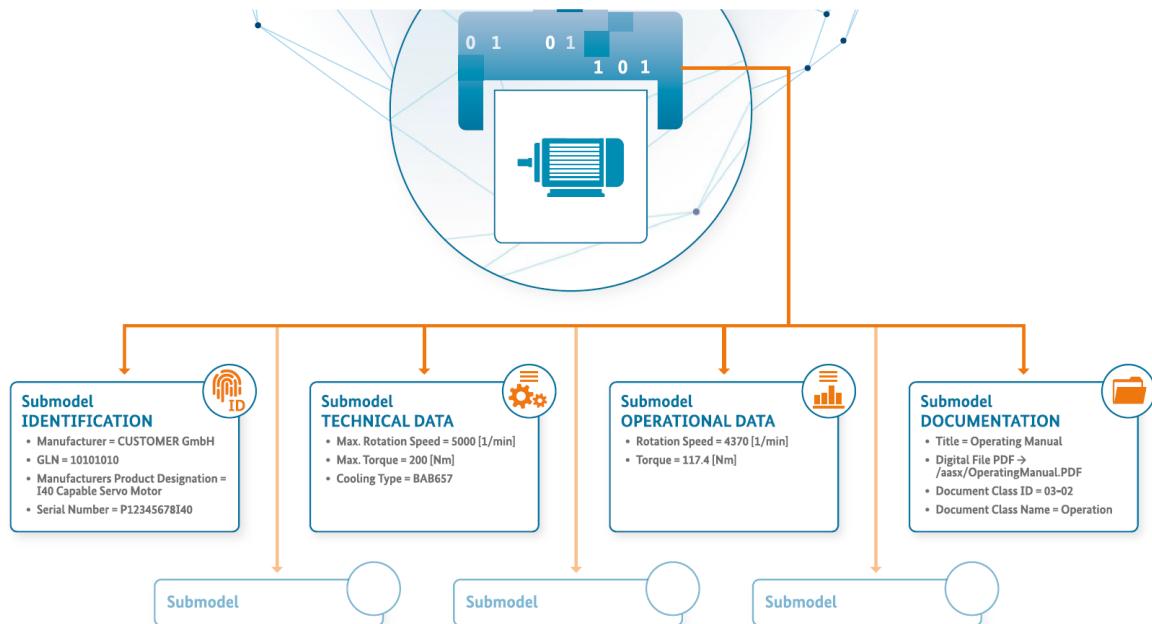


Fonte: Germany (2018) (adaptado).

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

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

Figura 17 – Exemplificação de um AAS para um servomotor, incluindo os submodelos de dados técnicos, dados operacionais e documentação.



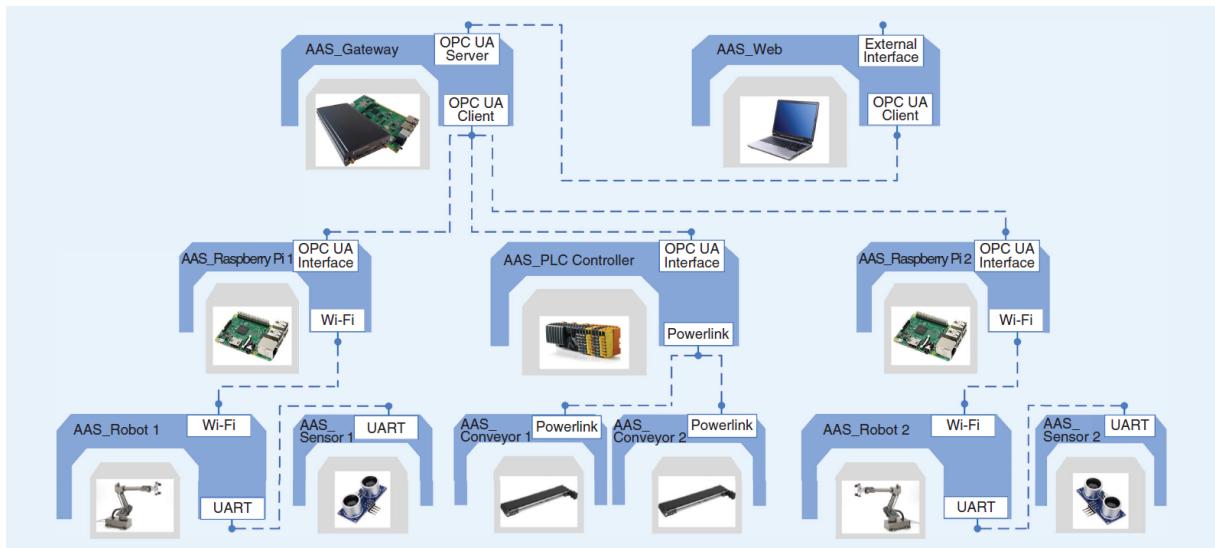
Fonte: ZVEI (2019) (adaptado).

Os submodelos são unidades básicas de organização dentro de um AAS que agregam informações semelhantes. Eles são divididos em dois tipos (GERMANY, 2019a): submodelos básicos e submodelos livres.

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 ASS permite o uso de diferentes canais de comunicação entre objetos na I4.0, é um elo entre os objetos físicos e o mundo conectado. A Figura 18 ilustra a comunicação entre diferentes AASs em um ambiente de manufatura I4.0.

Figura 18 – Comunicação entre AAS de objetos I4.0.

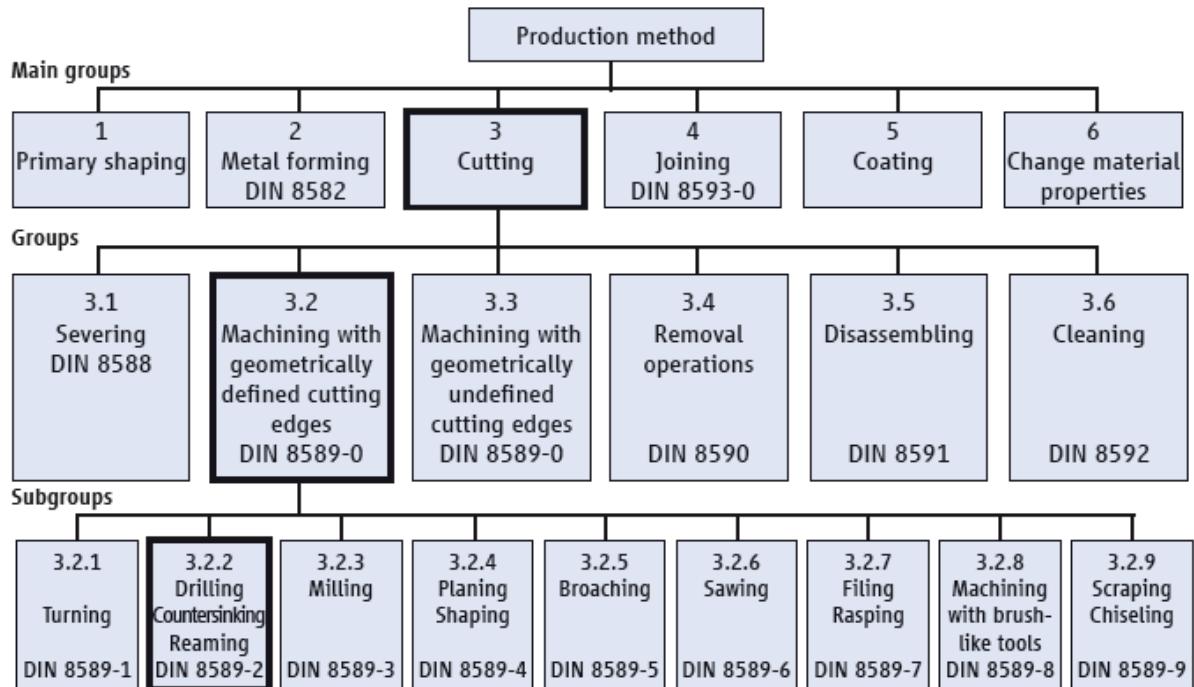


Fonte: Ye e Hong (2019) (adaptado).

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 físico encapsulado pelo *Administration Shell*, é denominado “Componente I4.0”.

A integração dos ativos, representados 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 19 mostra um exemplo de detalhamento de função do ativo.

Figura 19 – Exemplo de detalhamento de função no AAS por meio de submodelos.



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

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 descrições da 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.

3.3 Memória digital do produto

Os produtos que são produzidos no cenário de Indústria 4.0 são equipados com a memória digital do produto (MDP). Por meio dessa memória podem ser acessadas e redistribuídas informações sobre o produto ao longo de toda a cadeia de valores.

A MDP é alimentada e disponibilizada ao longo de todo o ciclo de vida do produto, podendo ser acessada por qualquer elo na cadeia de suprimentos (fabricante, distribuidor, varejista, consumidor). Mesmo no pós-venda a MDP ainda se faz presente. O consumidor ainda pode ter acesso às informações dos produtos em cada ponto da cadeia de suprimentos e se beneficiar de serviços individuais que se acumulam na memória (BRANDHERM; KRONER, 2011).

Nesse contexto, a MDP mantém 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 de produtos ao longo da cadeia de valores uma vez que pode armazenar informações geoespaciais do ativo ao longo do tempo.

3.4 Virtualização em nível de sistema operacional

A virtualização em nível do sistema operacional refere-se a um paradigma de sistema operacional no qual o kernel permite a existência de várias instâncias isoladas do espaço do usuário.

Contêineres oferecem vantagens como

- Mesmo ambiente
- Projetos isolados
- Praticidade de rodar imagens

3.5 Service oriented architectures (SOA)

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

3.6 RESTful Web Services

O REST (Representational State Transfer - Transferência Representacional de Estado) é uma arquitetura de Software que define padrões para acesso e disponibilização de *Web Services*. Os Web services que seguem o padrão REST são denominados *RESTful Services*.

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

Diferentemente da arquitetura REST, outros tipos de Web services, como *Web services SOAP*, fornecem seus próprios conjuntos de operações arbitrários.

Em um Web service RESTful, as solicitações feitas ao URI de um recurso provocará uma resposta com uma carga útil formatada em HTML, XML, JSON ou algum outro formato.

Quando o HTTP é usado, é definido um tipo de operação para cada método HTTP, conforme a Tabela

Tabela 3 – Métodos HTTP e suas correspondentes ações em um serviço REST.

Método HTTP	Operação CRUD	Coleção inteira (Ex.: /users)	Item específico (Ex.: /users/123)
POST	Criar	201 (Created), ‘Location’ header with link to /users/{id} containing new ID.	Avoid using POST on single resource
GET	Ler	200 (OK), list of users. Use pagination, sorting and filtering to navigate big lists.	200 (OK), single user. 404 (Not Found), if ID not found or invalid.
PUT	Atualizar/ Substituir	405 (Method not allowed), unless you want to update every resource in the entire collection of resource.	200 (OK) or 204 (No Content). Use 404 (Not Found), if ID not found or invalid.
PATCH	Atualização Parcial/ Modificação	405 (Method not allowed), unless you want to modify the collection itself.	200 (OK) or 204 (No Content). Use 404 (Not Found), if ID not found or invalid.
DELETE	Excluir	405 (Method not allowed), unless you want to delete the whole collection — use with caution.	200 (OK). 404 (Not Found), if ID not found or invalid.

Fonte: (API, 2020) (adaptado).

4 Arquitetura baseada em REST para compartilhamento de informações do ativo entre as partes na Cadeia de Suprimentos

4.0.1 Estrutura do AAS e seus submodelos

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

A MDP na I4.0 é definida como qualquer dado digitalizado que se relacione ao ativo. A MDP é um banco de dados que armazena informações referentes a cada um dos submodelos em um AAS. Cada submodelo agrupa informações semelhantes relativas ao ativo. A MDP está localizada no corpo do AAS (*body*).

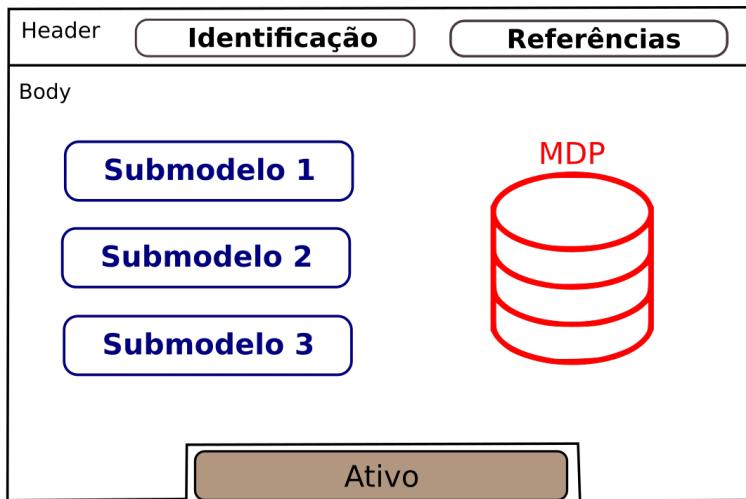
Os submodelos são divididos em duas categorias, a parte pública e a parte restrita.

Os submodelos públicos contêm informações não confidenciais sobre o ativo e têm funções de identificação na rede. Os submodelos públicos “Identificação” e “Referências” serão tratados neste trabalho. Estes submodelos têm a função de identificação a si mesmo e criação de *links* com referências para os demais submodelos restritos no AAS e estão localizados no cabeçalho do AAS (*header*).

Os submodelos restritos, por sua vez, contêm informações sensíveis sobre o ativo, que podem ser acessadas mediante autenticação, estes submodelos representam a carga útil do AAS, pois é a porção de informação que é de fato relevante para o cliente que consumirá as informações do AAS. Os submodelos restritos serão mencionados nesse trabalho simplesmente como “Submodelos”.

A estrutura proposta de um AAS é apresentada na Figura 20.

Figura 20 – Submodelos públicos e restritos de um AAS.



Fonte: O autor.

As informações geradas pelos submodelos são armazenadas na MDP por meio de uma API REST. O acesso à MDP referente a cada submodelo restrito é feito mediante autenticação.

A Tabela 4 detalha os tipos de submodelos.

Tabela 4 – Caracterização dos submodelos públicos e restritos.

Submodelo	Descrição
Submodelo público	Tem a função identificação do ativo na rede. Contém 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 submodelo não tem a função de fornecer uma ficha técnica detalhada, mas apenas uma caracterização abstrata do ativo. Dependendo da confidencialidade do ativo, o submodelo de identificação pode apenas apresentar o UUID como informação pública. Sem o UUID, o AAS se torna inacessível para qualquer uma das partes da cadeia de suprimentos.
Submodelo restrito	Representa a carga útil do AAS (<i>payload</i>). Os submodelos restritos contêm as propriedades, funções e demais regras de negócio do ativo. Os dados dos submodelos são armazenadas na MDP, que podem ser acessada mediante autenticação. Os dados contidos na MDP dos submodelos restritos quando processados fornecem informações sobre o ativo e agregam valor ao mesmo. Além disso, novos modelos de negócio surgem sob os dados gerados pelo ativo. Alguns exemplos de submodelos restritos incluem: a ficha técnica detalhada do ativo, submodelos de histórico de leitura de sensores, histórico de geolocalização do ativo, histórico de padrão de uso, etc.

Fonte: O autor.

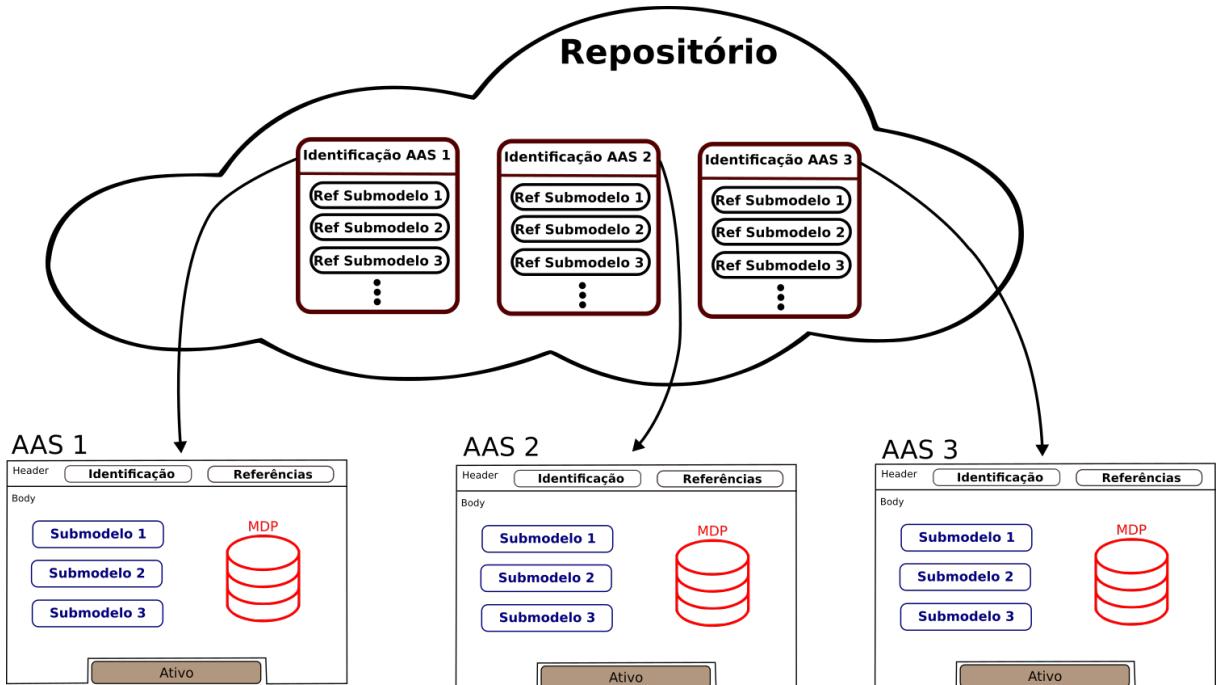
4.0.2 O repositório e a descoberta de AAS's

Os submodelos **Identificação** e **Referências** são a forma primária para a identificação e acesso a um AAS, pois estes submodelos possuem o UUID do AAS e as referências para o acesso dos demais submodelos do AAS.

Para que um AAS seja acessível pelas demais partes da cadeia de suprimentos, os submodelos Identificação e Referências devem estar disponíveis em uma lista pública que contém o submodelo de identificação de todos os AAS disponíveis, esta lista pública é definida como Repositório.

O repositório, além de uma cópia do submodelo de identificação de cada AAS, possui também uma cópia das referências para os demais submodelos de cada AAS, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Repositório com referências aos AAS's.



Fonte: O autor.

O repositório sob contexto da I4.0 é um *web service*, ou seja, um serviço oferecido de um dispositivo eletrônico para outro dispositivo eletrônico com a comunicação entre eles por meio da *World Wide Web* (Internet).

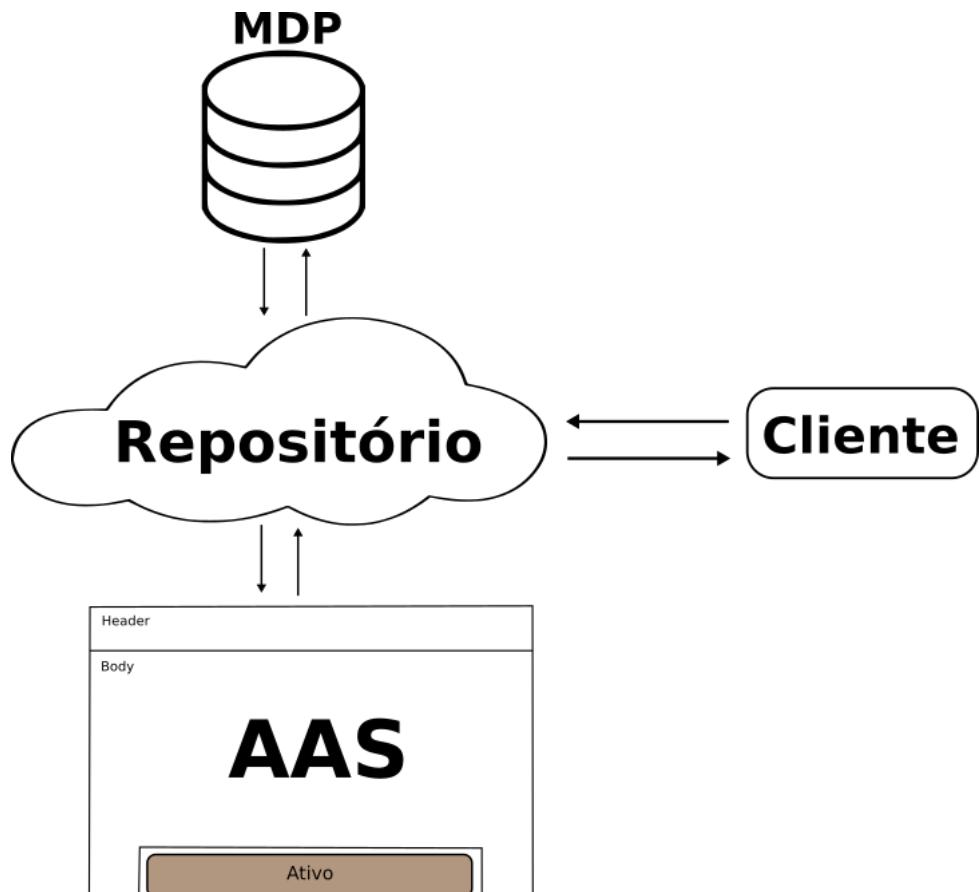
Um *web service* é disponibilizado por meio de um servidor que roda o serviço, escutando e respondendo solicitações de clientes através de uma determinada porta ou rede. Os clientes, por sua vez, consomem o serviço disponibilizado pelo servidor por meio de solicitações.

Para o fornecimento e consumo de *web services* entre cliente e servidor, diversos protocolos de comunicação podem ser utilizados na camada de aplicação do modelo padrão TCP/IP. O protocolo de comunicação para a adoção REST mais difundido na atualidade é o HTTP (GRÜNER; PFROMMER; PALM, 2016), porém alguns outros ainda operam, como o MQTT, que está presente principalmente na área de automação residencial e IoT (YOKOTANI; SASAKI, 2016).

4.0.3 Os quatro elos no compartilhamento de informações na CS

O modelo estrutural proposto envolve quatro componentes básicos: o AAS, a MDP, o repositório e o cliente. A Figura 22 mostra as conexões entre os quatro elos, onde cada seta representa o fluxo de informações direcional. A interrelação entre as partes envolvendo o servidor REST é detalhada no Capítulo 5.

Figura 22 – Repositório com referências aos AAS's.



Fonte: O autor.

A MDP é representada neste modelo fora do AAS exclusivamente por fins didáticos. A MDP é parte do AAS. A MDP, entretanto, não estará necessariamente armazenada no escopo físico da empresa, mas oferecida em uma plataforma de serviços de computação em nuvem mais adequada para o armazenamento de grandes quantidades de dados, assim como para uma alta capacidade de requisições.

Os elos necessários para o modelo estrutural de acesso a informações pelas partes da cadeia de suprimentos são detalhados na Tabela 5.

Tabela 5 – Os quatro elos do modelo estrutural de acesso de informações.

Componente	Descrição
AAS	O AAS é a conexão direta com o ativo, o AAS extrai e disponibiliza informações sobre o ativo. Cada submodelo do AAS representa um conjunto de informações semelhantes e suas respectivas funções de agregação.
Cliente	O cliente é a parte que irá consumir as informações disponibilizadas pelo AAS. O cliente representa cada uma das partes da cadeia de suprimentos, ou seja, o fabricante, o distribuidor, o consumidor, etc.
Repositório	O repositório é o <i>web service</i> RESTful que faz a interface entre a MDP e o Cliente, ou entre a MDP e o AAS. O cliente solicita ao repositório operações de consulta ao MDP (Método GET), enquanto que o AAS solicita ao repositório operações de inserção de dados ao MDP (Método POST)
MDP	A memória digital do produto é o banco de dados que armazena todas as informações históricas relativas aos submodelos do AAS. A MDP não precisa necessariamente ser um banco de dados único, mas pode ser distribuído conforme a necessidade e tipo de dados a se armazenar.

Fonte: O autor.

4.0.4 Estrutura de dados da MDP

Segundo Radack (2009), a série IEC 61360 fornece uma estrutura e um modelo de informação de dicionários sobre produtos. O conceito de tipo de produto é representado por “classes” e as características do produto são representadas por “propriedades”.

Tais propriedades são elementos de dados padronizados. As definições de tais propriedades podem ser encontradas em vários repositórios, como IEC CDD (dicionário de dados comuns) ou eCl@ss.

A definição de uma propriedade associa um identificador exclusivo mundial a uma definição, que é um conjunto de atributos bem definidos. Atributos relevantes para o AAS são, entre outros, seu nome, o símbolo, a unidade de medida e uma definição textual legível para humanos da propriedade (BADER *et al.*, 2019).

A publicação sugere formatos de transferência e armazenamento de dados. É especificado o UML (modelo neutro) e esquemas em XML e JSON, assim como mapeamentos

para OPC UA, AutomationML e o *Resource Description Framework* (RDF) (GERMANY, 2019a).

A estrutura proposta usa o padrão de troca de dados JSON, que utiliza texto legível a humanos, no formato atributo-valor (natureza auto-descritiva). O um modelo de transmissão de informações no formato JSON é muito usado em *web services* que usa transferência de estado representacional (REST) e aplicações AJAX, substituindo o uso do XML.

A estrutura de armazenamento proposta usa banco de dados orientado a documentos que usa document em formato JSON com esquemas pré-definidos.

A Figura 23 mostra um exemplo de estruturação de dados para troca e armazenamento de informações em JSON.

Figura 23 – Formato de intercâmbio de informações da MDP em JSON.

```

[{"id": "5ec29a02ffda7424b32447f6", "namePlate": "IIOT ready Logic and Motion Controller", "manufacturer": "Schneider Electric", "description": "IIOT ready Logic and Motion Controller", "country": "Germany", "createdAt": "2020-05-18T14:21:54.732Z", "updatedAt": "2020-05-18T14:23:50.943Z", "__v": 2}, {"id": "5ec29fc6ffda7424b32447f9", "namePlate": "Festo OVEL Vacuum generator", "manufacturer": "Festo AG & Co. KG", "description": "OVEL Vakuumsaugdüse", "country": "Germany", "createdAt": "2020-05-18T14:46:30.848Z", "updatedAt": "2020-05-18T14:46:30.848Z", "__v": 0}]
  
```

Fonte: O autor.

5 Acesso à MDP pelo AAS e Cliente

O acesso à MDP pelo AAS a fins de escrita e pelo Cliente a fins de leitura é realizado por meio de uma API REST. No contexto na I4.0, esta API Rest é denominada “Repositório” e funciona como uma interface para acesso às funcionalidades do banco de dados da MDP, tais como operações CRUD (criação, leitura, atualização e exclusão).

Além das operações de manipulação da MDP, o repositório serve como uma plataforma de descoberta de AAS's disponíveis, uma vez que ele contém os UUIDs de todos os AAS cadastrados.

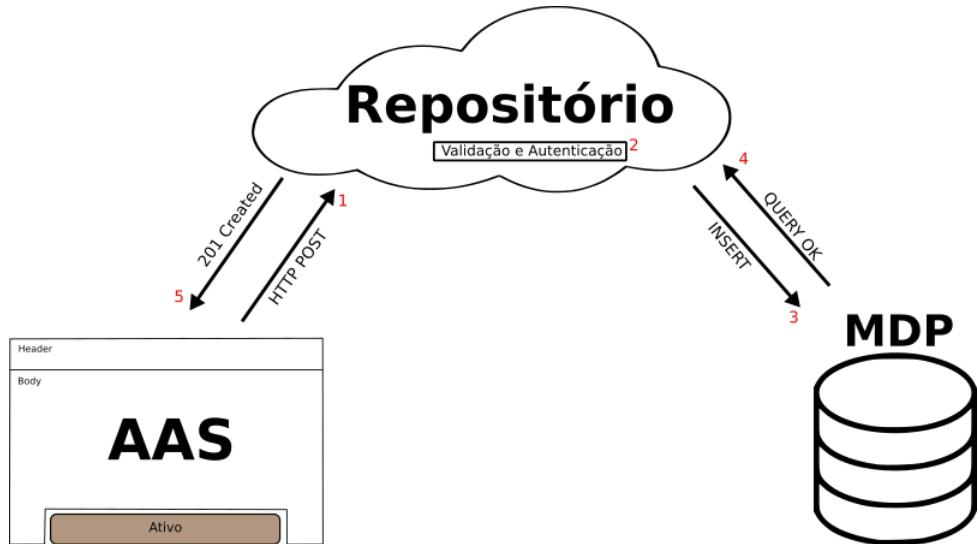
5.0.1 A comunicação AAS - MDP

A comunicação entre o AAS e a MDP pode ser dividida em cinco etapas:

1. O AAS envia ao repositório uma solicitação de inserção de dados sobre o ativo.
2. O repositório recebe a solicitação de inserção, valida os dados, checa autenticação e envia uma solicitação de inserção de dados à MDP.
3. A MDP processa as informações e insere em sua estrutura os novos dados.
4. A MDP retorna uma confirmação de inserção dos dados ao repositório.
5. O Re却tório retorna ao AAS o *status* da solicitação inserção de dados conforme convenções do protocolo HTTP.

A comunicação AAS-MDP é ilustrada na Figura 24.

Figura 24 – Comunicação AAS-MDP.



Fonte: O autor.

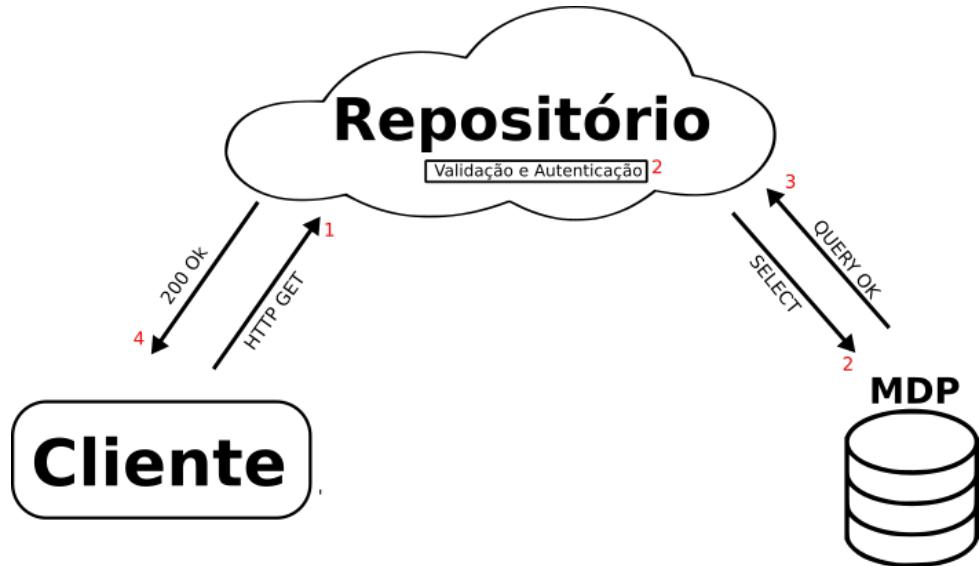
5.0.2 A comunicação Cliente - MDP

A comunicação entre o Cliente e a MDP, assim como a comunicação AAS-MDP, pode ser dividida em cinco etapas semelhantes:

1. O Cliente membro da cadeia de suprimento envia ao repositório uma solicitação de consulta de dados sobre o ativo.
2. O repositório recebe a solicitação de consulta, checa autenticações necessárias e envia uma solicitação de consulta à MDP.
3. A MDP processa as informações solicitadas através de uma consulta do tipo SELECT.
4. A MDP retorna os dados solicitados ao repositório com uma confirmação de consulta executada com sucesso.
5. O Re却tório retorna ao Cliente os dados solicitados juntamente com o *status* da solicitação de consulta conforme convenções do protocolo HTTP.

A comunicação Cliente-MDP é ilustrada na Figura 25.

Figura 25 – Comunicação Cliente-MDP.



Fonte: O autor.

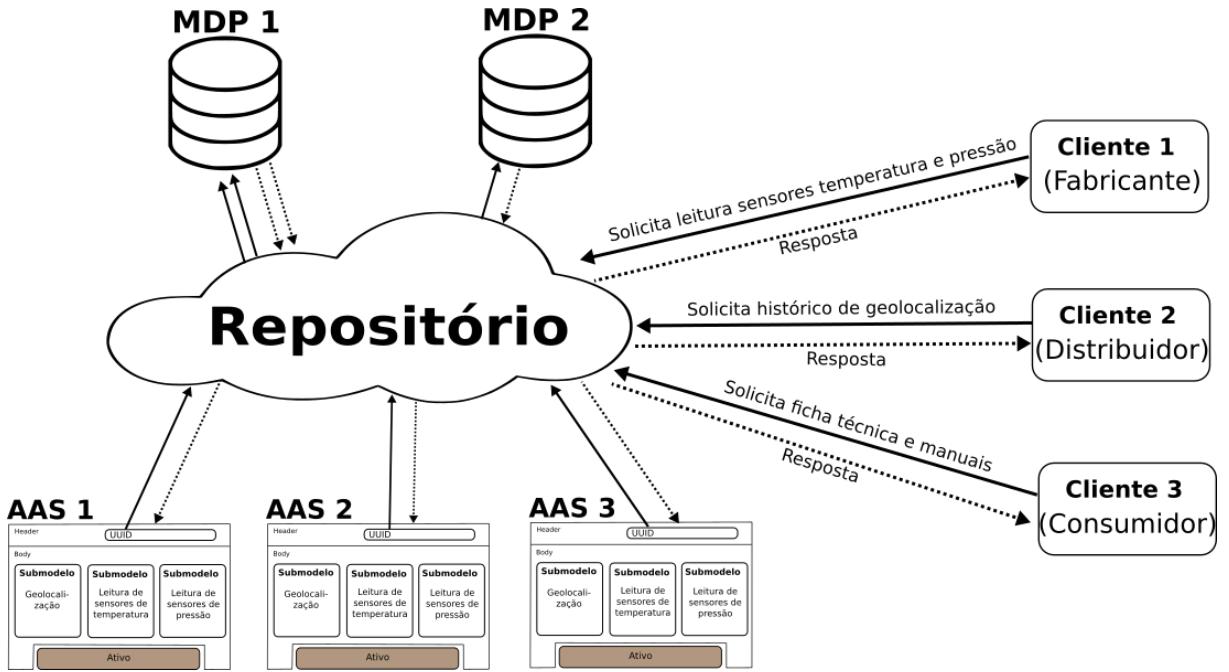
5.0.3 Interação AAS-MDP-Cliente

A interação AAS-MDP-Cliente é basicamente uma operação simultânea assíncrona da comunicação AAS-MDP e a comunicação Cliente-MDP.

Nesta interação, diversos AAS's e diversos clientes podem fazer solicitações independentes ao repositório de operações CRUD.

A Figura 26 ilustra interações simultâneas entre o cliente ou o AAS com o repositório para solicitações de leitura e solicitações de escrita na MDP, respectivamente.

Figura 26 – Comunicação Cliente-MDP.



Fonte: O autor.

Cada AAS não precisa necessariamente estabelecer conexão com apenas uma MDP, diferentes submodelos de uma AAS podem ter seus dados salvos em diferentes serviços de armazenamento em nuvem, ou até mesmo em um banco de dados local na própria empresa.

Cada cliente deve se autenticar junto ao repositório a fim de ser consultar a MDP. Isto significa que cada cliente não tem o acesso integral a todos os submodelos do AAS, mas somente àquele que for determinado por projeto.

Na Figura 26 são exemplificados três tipos de clientes com seus respectivos escopos de autenticação. O Cliente 1 pode acessar somente informações relativas ao submodelo de leitura de sensores de temperatura e pressão, o Cliente 2 pode acessar somente informações sobre o submodelo de geolocalização, o Cliente 3 acessa somente o submodelo de ficha técnica e manuais.

5.0.4 O MDP e as Camadas do 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, interrelações complexas podem ser divididas em seções menores e mais gerenciáveis,

combinando os três eixos em cada ponto da vida do ativo para representar cada aspecto relevante.

Desta forma, a coparticipação da MDP deve ser representada também conforme a estrutura do RAMI4.0, explicitando em que parte acontece cada interação entre AAS, MDP, Repositório e Cliente.

Desenvolvendo....

6 A MDP e o ciclo de vida do produto

6.0.1 Distinção de tipo e instância de um ativo

O modelo do RAMI4.0 apresenta um eixo de ciclo de vida generalizado, derivado da norma IEC 62890 (ADOLPHS *et al.*, 2015). A ideia do trás do eixo Ciclo de Vida e Cadeia de Valor é distinguir todos os ativos na I4.0 entre tipos e instâncias:

- Tipo: Presente desde a concepção/conceitualização até os primeiros protótipos/testes. O “tipo” de um ativo é definido e propriedades e funcionalidades distintas são definidas e implementadas. Todos os artefatos de design (interno) são criados, como dados CAD, esquemas, software incorporado e associados ao tipo de ativo. Aumentando a capacidade de produção. As informações ‘externas’ associadas ao ativo são criadas, como folhas de dados técnicos, informações de marketing. O processo de venda é iniciado.
- Instância: São criadas/produzidas com base nas informações de um tipo de ativo. Informações específicas sobre produção, logística, qualificação e teste estão associadas às instâncias do ativo. Fase de uso pelo comprador das instâncias do ativo. Os dados de uso estão associados à instância do ativo e podem ser compartilhados com outros parceiros da cadeia de valor, como o fabricante da instância do ativo. Também inclui: manutenção, re-design, otimização e desativação da instância do ativo. O histórico completo do ciclo de vida está associado ao ativo e pode ser arquivado / compartilhado para documentação.

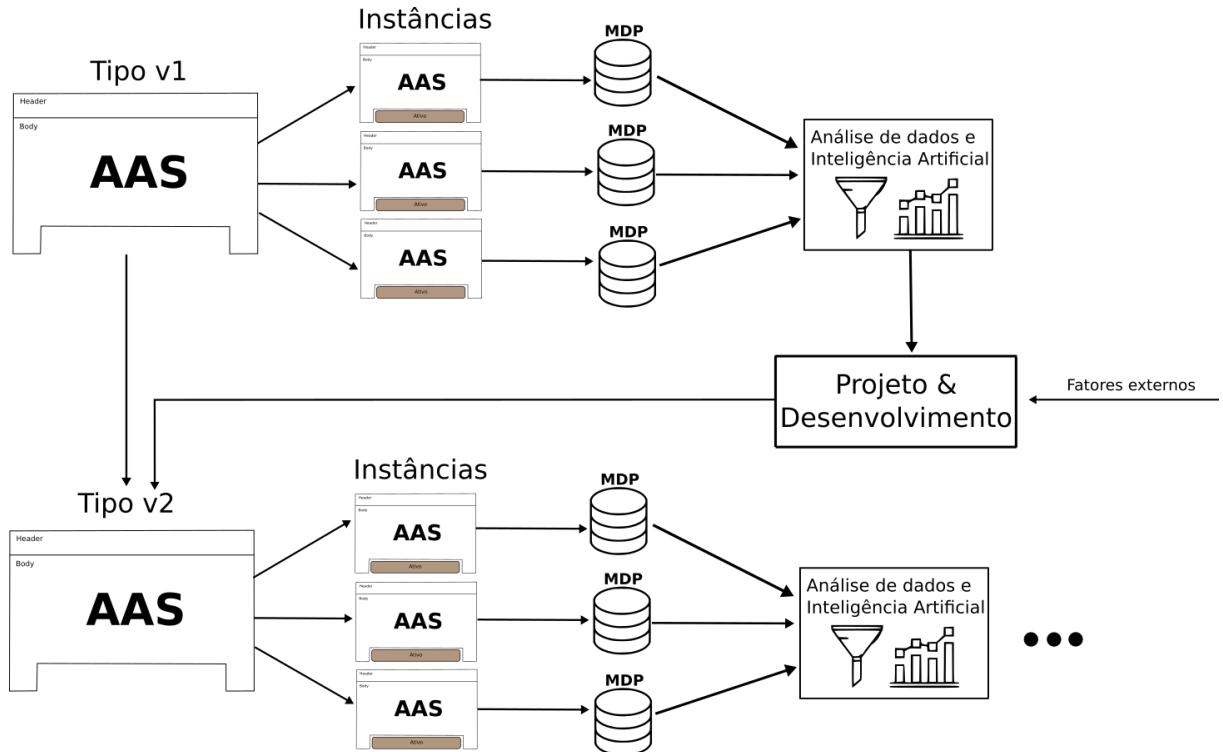
Esse relacionamento deve ser mantido ao longo da vida das instâncias do ativo. Por esse relacionamento, as atualizações nos tipos de ativos podem ser encaminhadas para as instâncias de ativos, automaticamente ou sob demanda (BADER *et al.*, 2019).

Os relacionamentos entre tipos e instância são cíclicos e possibilitam a retroalimentação de informações. Para os ativos do produto, por exemplo, informações sobre o uso e manutenção de instâncias do produto armazenadas na MDP podem melhorar a fabricação de novos produtos, além de causar melhorias no projeto do próximo tipo de produto.

Portanto, o fluxo de informações entre tipos e instâncias de um produto são essenciais para a melhoria do projeto do produto. A Figura 27 ilustra como ocorre a instancialização

(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 27 – Ciclo de vida do produto.



Fonte: O autor.

6.0.2 Desenvolvimento do produto orientado a dados

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

6.0.3 Manutenção do produto orientado a dados

 Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

7 Aplicação

- 7.0.1 Repositório (API REST)
- 7.0.2 MDP (Banco de dados Mongo)
- 7.0.3 Cliente (Página Web)
- 7.0.4 AAS (Raspberry PI com cliente e servidor OPC UA)

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

8 Publicações decorrentes do trabalho

Publicação 1:

- Título do trabalho: “Análise de implementação de IoT na cadeia logística”
- Congresso: XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 2019
- Status: Aprovado, apresentado e publicado nos anais do evento
- Autores: Henrique A. Vitoi, Fabrício Junqueira, Paulo E. Miyagi
- Apresentação: 16 de outubro de 2019, Santos/SP

Publicação 2:

- Título do trabalho: “Big Data on Machine to Machine Integration’s Requirement Analysis Within Industry 4.0”
- Congresso: DoCEIS 2019: Technological Innovation for Industry and Service Systems
- Status: Aprovado e publicado
- Autores: Felipe A. Coda, Rafael M. Salles, Henrique A. Vitoi, Marcosiris A. O. Pessoa, Lucas A. Moscato, Diolino J. Santos Filho, Fabrício Junqueira, Paulo E. Miyagi
- Publicação: 16 de abril de 2019

9 Cronograma detalhado

O cronograma planejado é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Cronograma detalhado de atividades

Etapas	2018		2019						2020			
	set/ out	nov/ dez	jan/ fev	mar/ abr	mai/ jun	jul/ ago	set/ out	nov/ dez	jan/ fev	mar/ abr	mai/ jun	jul/ ago
Cumprimento dos créditos	C	C	C	C	C	C						
Levantamento bibliográfico	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A
Desenvolvimento do projeto			C	C	C	C	C	C	A	A	A	
Exame de Qualificação										A		
Defesa da dissertação												A

Fonte: O autor.

A data estipulada para defesa da dissertação pode ser adiada conforme necessidade para refinamento do projeto, adicionando-se mais meses para levantamento bibliográfico e desenvolvimento do projeto, respeitando de toda forma o prazo máximo para depósito da dissertação.

Disciplinas cursadas nos períodos 2018/3, 2019/1 e 2019/2:

- PMR5024 - Simulação de Sistemas;
- PTC5751 - Internet das coisas;
- PEA5003 - Sistemas Inteligentes de Transporte;
- PMR5023 - Modelagem e Análise de Sistemas;
- PTR5744 - Pesquisa Operacional;
- PRO5807 - Logística e Cadeia de Suprimentos;
- PMR5402 - Controle de Sistemas.

10 Conclusão

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

(ARUVÄLI; MAASS; OTTO, 2014) (TORO; BARANDIARAN; POSADA, 2015) (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018) (SQUIT, 2013) .

Referências¹

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 21.

ADOLPH, L.; AMMON, E.; BAUSCH, U.; BECK, S.; BEDENBENDER, H.; BENTKUS, A.; BILLMANN, M. *German Standardization Roadmap: Industrie 4.0 - Version 3.* Berlin, DIN e.V., 2018. Disponível em: <www.din.de/go/roadmapindustrie40-en>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 31.

ADOLPHS, P.; BEDENBENDER, H.; DIRZUS, D.; EHLICH, M.; EPPLER, U.; HANKEL, M.; HEIDEL, R.; HOFFMEISTER, M.; HUHLE, H.; KÄRCHER, B.; KOZIOLEK, H.; PICHLER, R.; POLLMEIER, S.; SCHEWE, F.; WALTER, A.; WASER, B.; WOLLSCHLÄGER, M. *Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0).* [S.l.]: ZVEI and VDI, Status report, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 54.

API, R. *HTTP Methods.* Rest API Tutorials, 2020. Disponível em: <<https://restfulapi.net/http-methods/>>. Citado na página 41.

ARUVĀLI, T.; MAASS, W.; OTTO, T. Digital object memory based monitoring solutions in manufacturing processes. *Procedia Engineering*, Elsevier, v. 69, p. 449–458, 2014. Citado na página 60.

BADER, S.; BARNSTEDT, E.; BEDENBENDER, H.; BILLMANN, M.; BOSS, B.; BRAUNMANDL, A.; CLAUER, E.; DEPPE, T.; DIEDRICH, C.; FLUBACHER, B.; FRITSCHE, W.; GARRELS, K.; GATTERBURG, A. G.; HANKEL, M.; HILLERMEIER, O.; HOFFMEISTER, M.; JOCHEN, M.; KOGAN, Y.; KOZIOLEK, H.; ZIESCHE, C. *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 3 vezes nas páginas 35, 47 e 54.

BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial.* [S.l.]: Bookman Editora, 2006. Citado na página 11.

BEDENBENDER, H.; BILLMANN, M.; EPPLER, U.; HADLICH, T.; HANKEL, M.; HEIDEL, R.; HILLERMEIER, O.; HOFFMEISTER, M.; HUHLE, H.; JOCHEN, M. Examples of the asset administration shell for industrie 4.0 components - basic part. *ZVEI White Paper*, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.

BITKOM; VDMA; ZVEI. *Implementation Strategy Industrie 4.0.* Bitkom e.V., VDMA e.V., ZVEI e.V., 2016. Disponível em: <www.din.de/go/roadmapindustrie40-en>. Citado na página 31.

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 28.

¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

- 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 3 vezes nas páginas 20, 38 e 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 14.
- 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 11.
- DRATH, R.; ALEXANDER, H. Industrie 4.0: hit or hype? *Industrial Electronics Magazine*, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014. Citado na página 30.
- FERRIS, C. Web services architecture. *Standard, W3C World*, W3C Working Group, p. 10, 2004. Citado na página 40.
- GERMANY. *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 3 vezes nas páginas 33, 34 e 35.
- GERMANY. *Details of the Administration Shell - From idea to implementation*. [S.l.]: Plattform Industrie 4.0, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 48.
- 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 21 e 31.
- GRÜNER, S.; PFROMMER, J.; PALM, F. Restful industrial communication with opc ua. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, IEEE, v. 12, n. 5, p. 1832–1841, 2016. Citado na página 45.
- HANKEL, M.; REXROTH, B. The reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0). *ZVEI, April*, v. 410, 2015. Citado na página 20.
- 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 5 vezes nas páginas 7, 15, 17, 28 e 31.
- HIRSCH-KREINSEN, H.; KUBACH, U.; STARK, R.; WICHERT, G. von; HORNUNG, S.; HUBRECHT, L.; SEDLMEIR, J.; STEGLICH, D. S. 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 21 e 22.
- HUGOS, M. H. *Essentials of supply chain management*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.
- IEC. *Smart manufacturing – Reference architecture model industry 4.0 (RAMI4.0)*. [S.l.]: IEC PAS 63088 - International Electrotechnical Commission, 2017. Citado na página 52.

- JENSEN, K. *Coloured Petri nets - Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use.* [S.l.: s.n.], 1997. v. 3. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- 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 20 e 27.
- 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 4 vezes nas páginas 20, 21, 30 e 31.
- LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. 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 6 vezes nas páginas 15, 16, 20, 27, 29 e 30.
- 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 12.
- LEVITT, T. Exploit the product life cycle. *Harvard business review*, v. 43, p. 81–94, 1965. Citado na página 14.
- LIU, M. J. *Managing the Marketing Risk*. 2010. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/umiss/mmm2>>. Citado na página 15.
- 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 20.
- PISCHING, M. A. *Arquitetura para descoberta de equipamentos em processos de manufatura com foco na indústria 4.0*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017. Citado na página 18.
- PORTER, M. E. Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance. *Competitive advantage*, v. 167, p. 167–206, 1985. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- 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 13.
- RADACK, G. Industrial automation systems and integration—exchange of characteristic data — part 10: Characteristic data exchange format. 2009. Citado na página 47.
- RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, v. 9, n. 1, p. 54–89, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.
- SCHMITTNER, C.; MA, Z.; RUPRECHTER, T.; ALDRIAN, A. 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 29.

- SCHWAB, K. *The fourth industrial revolution*. [S.l.]: Currency, 2016. Citado na página 28.
- SOUT, S. *Orquestração de sistemas produtivos dispersos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2013. Citado na página 60.
- STARK, J. Product lifecycle management. In: *Product lifecycle management (Volume 1)*. [S.l.]: Springer, 2015. p. 1–29. Citado na página 26.
- TORO, C.; BARANDIARAN, I.; POSADA, J. A perspective on knowledge based and intelligent systems implementation in industrie 4.0. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 60, p. 362–370, 2015. Citado na página 60.
- 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 14 e 29.
- VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 - a glimpse. *Procedia Manufacturing*, Elsevier, v. 20, p. 233–238, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 60.
- WAHLSTER, W. Digital product memory: Embedded systems keep a diary. *Hartung tec. News*, v. 15, p. 7–9, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- WAHLSTER, W. *Industrie 4.0: Active Semantic Product Memories for Smart Factories*. [S.l.]: IDA 30th Year Celebration Seminar Linköping, 2013. Citado na página 27.
- WAHLSTER, W. *SemProM: Foundations of Semantic Product Memories for the Internet of Things*. [S.l.]: Springer, 2013. Citado na página 20.
- WEYER, S.; SCHMITT, M.; OHMER, M.; GORECKY, D. 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 20.
- 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 37.
- YOKOTANI, T.; SASAKI, Y. Comparison with http and mqtt on required network resources for iot. In: IEEE. *2016 international conference on control, electronics, renewable energy and communications (ICCEREC)*. [S.l.], 2016. p. 1–6. Citado na página 45.
- ZVEI. *The Asset Administration Shell: Implementing Digital Twins for Use in Industrie 4.0 - Making Industrie 4.0 components interoperable*. ZVEI e.V. - Die Elektroindustrie, 2019. Disponível em: <<https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/VWSiD%20V2.0.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- ZÜHLKE. *Push digital innovation*. 2020. Disponível em: <<https://www.zuehlke.com/at/en/industries/machinery-electronics-and-metal-industries/>>. Citado na página 19.