

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PROPOSTA DE UM MODELO PARA O GERENCIAMENTO DE
INFORMAÇÕES RELACIONADAS AOS PROCESSOS DE MONTAGEM
INTELIGENTE

Eng. Matheus Franco Soares

Santa Bárbara d'Oeste
Novembro 2018

PROPOSTA DE UM MODELO PARA O GERENCIAMENTO DE
INFORMAÇÕES RELACIONADAS AOS PROCESSOS DE MONTAGEM
INTELIGENTE

Área de Concentração: Engenharia do Produto e do Processo

Linha de Pesquisa: Engenharia do Processo

Eng. Matheus Franco Soares

ORIENTADOR: PROF. DR.-ING. KLAUS SCHÜTZER

Dissertação apresentada à Banca
de Exame de Defesa no Programa
de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Faculdade de Engenharia,
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Metodista de
Piracicaba

Santa Bárbara d'Oeste
Novembro 2018

Sumário

Sumário	I
Índice de Figuras	IV
Índice de Tabelas.....	VII
Índice de Anexos	VIII
Lista de abreviaturas.....	IX
Resumo	XI
<i>Abstract</i>	XII
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação	2
1.2 Contribuição da dissertação.....	3
1.3 Estrutura da dissertação	4
2 Montagem Inteligente em CPS	5
2.1 Introdução a Montagem Inteligente.....	5
2.2 Sistemas de Produção Físico Cibernéticos (CPPS).....	9
2.2.1 Estrutura dos CPPS.....	10
2.2.2 Importância da informação nos sistemas inteligentes.....	11
2.2.3 Papel do ser humano.....	13
2.3 Sistemas de Montagem Físico Cibernéticos (CPAS)	15
2.3.1 Produto.....	17
2.3.2 Pessoas	18
2.3.3 Processos, equipamentos e ferramentas	19

2.3.4	Informação.....	21
2.3.5	Tecnologia	24
2.4	Aplicações de Montagem Inteligente	26
2.5	Desafios para viabilização da Montagem Inteligente em CPS	29
2.5.1	Modelo de arquitetura referência para <i>Industrie 4.0</i> (RAMI4.0).....	31
2.5.2	Gerenciamento de operações de manufatura (MOM).....	33
2.5.3	Invólucro Administrativo	34
2.6	Gerenciamento de dados em processos industriais.....	38
2.6.1	Sistema de gerenciamento de dados em processos industriais.....	38
2.6.2	Estruturação de dados em CPAS e viabilizadores da Montagem Inteligente	46
2.7	Linguagem de modelagem unificada (UML).....	48
3	Objetivo e Método de pesquisa.....	55
3.1	Problema de pesquisa	55
3.2	Objetivo do trabalho.....	55
3.3	Método de pesquisa.....	56
4	Proposta de um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente.....	60
4.1	Revisão bibliográfica.....	60
4.2	Análise de soluções potenciais para o problema de pesquisa	61
4.3	Elaboração de um modelo	61
4.4	Teste do modelo proposto	69

4.4.1	Contextualização dos processos executados na CPAS4.0.....	69
4.4.2	Produto 1: Carrinho.....	71
4.4.3	Produto 2: Triciclo	73
4.4.4	Produto 3: Moto	75
4.4.5	Processo de Montagem Inteligente.....	77
4.5	Verificação de alterações necessárias.....	84
5	Resultados.....	85
5.1	Modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente.....	85
5.1.1	Externos.....	87
5.1.2	PLM & ERP	87
5.1.3	<i>Chão-de-fábrica</i>	89
5.1.4	Gerenciamento da Montagem Inteligente	92
5.2	Teste do modelo proposto	95
6	Conclusão.....	103
7	Referencial bibliográfico.....	105
	Anexos.....	113

Índice de Figuras

Figura 1: A tendência da produção personalizada	6
Figura 2: Desafios econômicos e sociais da transformação digital.....	7
Figura 3: Exemplo de arquitetura de um CPPS.....	10
Figura 4: Pirâmide de transformação de dados em conhecimento.....	12
Figura 5: Manufatura colaborativa centrada no ser humano.....	14
Figura 6: Ranhura dupla - funcionalidade inteligente.....	16
Figura 7: Os cinco elementos essenciais da Montagem Inteligente	17
Figura 8: Dimensão real única de componentes, adaptado de Picard.....	18
Figura 9: Modelo de dados integrado do componente.....	22
Figura 10: Fluxo de informações no CPAS	23
Figura 11: Estrutura modular na iFactory	26
Figura 12: Componentes do cilindro pneumático	27
Figura 13: smARt.Assembly - Sistema híbrido de Montagem Inteligente.....	28
Figura 14: Montagem de micro-esferas.....	29
Figura 15: Representação do RAMI4.0	32
Figura 16: Recurso de comunicação ativa	35
Figura 17: Recursos de comunicação passiva	35
Figura 18: Estrutura do Invólucro Administrativo	36
Figura 19: Invólucro Administrativo de um produto e seus componentes	37
Figura 20: Operações associadas ao MES	40
Figura 21: Funcionalidades dos sistemas ERP.....	43
Figura 22: Objetos da estrutura de produto.....	45
Figura 23: Estrutura de dados na Montagem Inteligente	46
Figura 24: Exemplo de uma classe	49
Figura 25: Exemplo de classe com atributos.....	50

Figura 26: Exemplo de classe com atributos e métodos	50
Figura 27: Exemplo de associação unária.....	51
Figura 28: Exemplo de associação binária.....	51
Figura 29: Exemplo de associação ternária	52
Figura 30: Exemplo de agregação	52
Figura 31: Exemplo de generalização	53
Figura 32: Representação de interfaces.....	53
Figura 33: Representação dos estereótipos <<boundary>> e <<control>>	54
Figura 34: Etapas da metodologia DSR	57
Figura 35: Método de pesquisa.....	58
Figura 36: Elementos necessários para Montagem Inteligente	61
Figura 37: Estrutura do modelo de gerenciamento de informações baseado em MOM	64
Figura 38: Estrutura do Invólucro Administrativo integrado ao MOM.....	67
Figura 39: Famílias de produtos montadas no CPAS4.0.....	69
Figura 40: Carrinho	71
Figura 41: Árvore estrutural do carrinho.....	72
Figura 42: Layout da linha de montagem do carrinho.....	72
Figura 43: Triciclo	73
Figura 44: Árvore estrutural do triciclo.....	74
Figura 45: Layout da linha de montagem do triciclo	75
Figura 46: Moto.....	76
Figura 47: Layout da linha de montagem do triciclo	76
Figura 48: Layout da linha de montagem da moto	77
Figura 49: Etapas ST10	79
Figura 50: Etapas ST20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90	81
Figura 51: Etapas ST410	82

Figura 52: Etapas ST400	83
Figura 53: Diagrama compacto do Modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS.....	86
Figura 54: Pacote Externos expandido	87
Figura 55: Pacote PLM & ERP expandido.....	88
Figura 56: Pacote Chão-de-fábrica expandido	90
Figura 57: Pacote Montagem Inteligente expandido	92
Figura 58: Produto personalizado escolhido pelo cliente N	95
Figura 59: Invólucro Administrativo do produto personalizado	96
Figura 60: Layout da linha de montagem	97
Figura 61: Adição do chassi ao Invólucro Administrativo.....	98
Figura 62: Adição do guidão com suspensão ao Invólucro Administrativo	99
Figura 63: Adição dos subconjuntos roda + pneu no Invólucro Administrativo	100
Figura 64: Adição do spoiler traseiro ao Invólucro Administrativo	101
Figura 65: Adição dos faróis ao Invólucro Administrativo e conclusão do processo ..	102

Índice de Tabelas

Tabela 1: Benefícios do MOM associado com tecnologias de Big Data	34
Tabela 2: Recursos obrigatórios e avançados de uma solução PLM	44
Tabela 3: Pré-requisitos para viabilizar a Montagem Inteligente	48
Tabela 4: Componentes do carrinho	71
Tabela 5: Componentes do triciclo	74
Tabela 6: Componentes da moto	76

Índice de Anexos

Anexo 1: Componentes do Produto 1 - Carrinho.....	113
Anexo 2: Componentes do Produto 2 - Triciclo	114
Anexo 3: Componentes do Produto 3 - Triciclo	115
Anexo 4: Diagrama de classe UML completo.....	116

Lista de abreviaturas

AR	Realidade aumentada
BI	Inteligência empresarial
BoM	Lista de materiais
BoP	Lista de processos
CAD	Projeto auxiliado por computador
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
CMMS	Sistema Informatizado da Gestão da Manutenção
CPAS	Sistema(s) de Montagem Físico-Cibernético(s)
CPPS	Sistema(s) de Produção Físico-Cibernético(s)
CPS	Sistema(s) Físico-Cibernético(s)
CRM	Gestão de relacionamento com o cliente
DSR	Pesquisa de projeto científico
EAM	Gestão dos recursos da empresa
ERP	Planejamento dos recursos da empresa
I4.0	<i>Indústria 4.0</i>
IA	Invólucro Administrativo
ICDM	Modelo de dados integrado do componente
IHM	Interface homem-máquina
IIoT	Internet das coisas industrial
IoT	Internet das coisas
MES	Sistema de Execução da Manufatura
MOM	Gerenciamento de operações de manufatura
PLM	Gerenciamento do ciclo de vida do produto
PN	Número da peça
QR-Code	Código de resposta rápida

RAMI4.0	Modelo de Arquitetura Referência para Industrie 4.0
RFID	Identificação por radiofrequência
SCP	Gerenciamento da cadeia de suprimentos
ST	Estação
TI	Tecnologia de Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UID	Identificação única
UML	Linguagem de Modelagem Unificada
VR	Realidade virtual

Resumo

A demanda por produtos personalizados e flexibilidade dos processos produtivos passou a desafiar os métodos de produção tradicionais. Em vista disso, foi desenvolvida a iniciativa *Indústria 4.0*, trazendo consigo não só novas tecnologias, mas também novos paradigmas para o setor manufatureiro e revolucionando a indústria mais uma vez. Neste contexto, surgiu a Montagem Inteligente, abordagem caracterizada pela introdução de inteligência nos processos de montagem e também pela integração de recursos de manufatura, visando obter um sistema que se adapte de maneira dinâmica e flexível ao produto a ser montado. Entretanto, por se tratar de uma abordagem relativamente nova, ampla e baseada em tecnologias emergentes, existem diversas exigências a serem atendidas e desafios a serem superados para de fato viabilizar a Montagem Inteligente. Diante disso, visando auxiliar no desenvolvimento e viabilização desta abordagem, a contribuição deste trabalho será a proposta um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em Sistemas Físico-cibernéticos. Além disso, afim de verificar sua funcionabilidade, este modelo será aplicado em um processo de Montagem Inteligente flexível.

Palavras-chave: Montagem Inteligente; Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS); Sistemas de Montagem Físico-Cibernéticos (CPAS); gerenciamento de informações; *Indústria 4.0*.

Abstract

The demand for customized products and flexibility on production processes began to challenge traditional production methods. As a result, the 4.0 Industry initiative was developed, bringing with it not only new technologies, but also new paradigms for the manufacturing sector and revolutionizing the industry once again. In this context, the Smart Assembly has emerged. It is an approach characterized by the introduction of intelligence in the assembly processes and by the manufacturing resources integration, aiming to obtain a system that adapts itself in a dynamic and flexible way to the product being assembled. However, due to the fact that it is a relatively new approach and based on emerging technologies, there are several requirements to be met and challenges to be overcome in order to make Smart Assembly possible. In view of this, in order to assist in the development and feasibility of this approach, the contribution of this work will be the proposal of a model to enable the data management in the Smart Assembly processes in Cyber-Physical Systems. In addition, in order to verify its functionality, this model will be applied in a flexible Smart Assembly process.

Keywords: *Smart Assembly; Cyber-Physical Systems (CPS); Cyber-Physical Assembly Systems (CPAS); process management; Industrie 4.0.*

1 Introdução

Em consequência da transformação digital, desencadeada pela iniciativa *Industrie 4.0*, a indústria está sendo revolucionada pela quarta vez [1]. Esta revolução é caracterizada pela introdução da internet nos processos industriais, interconexão entre os mundos físico e cibernético e por uma produção que passa a ser orientada por dados fornecidos em tempo real. Isto trouxe novos paradigmas para a manufatura e está alterando a maneira de se fazer engenharia [1] [2] [3] [4].

Originada na Alemanha, *Industrie 4.0* (I4.0) é uma iniciativa que tem como um de seus propósitos promover a flexibilidade nos sistemas de manufatura e assim atender à demanda por um novo estilo de produção, caracterizado pela fabricação de produtos personalizados em lotes cada vez menores [2] [3] [4] [5]. Contudo, para viabilizar esta produção personalizada e atender às exigências no setor industrial, é necessário focar no desenvolvimento de novas tecnologias e abordagens nos âmbitos de produção e principalmente no de montagem, para que os sistemas de manufatura se tornem aptos a responder a constante variação de demanda e dos processos produtivos [6].

Em vista disso, surgiram novos ambientes de produção, denominados Sistemas de Produção Físico-Cibernéticos (CPPS - *Cyber-Physical Production System*). Em ambientes como estes, cada recurso da fábrica passa a ser constituído por sistemas de inteligência integrada com competências de armazenamento de dados, processamento e comunicação [4]. Nos CPPS são aplicadas Tecnologias de Informação e Comunicação, semântica para troca de informações, dados onipresentes¹ e interfaces² de interação entre homem, máquina e sistema [7]. O objetivo é obter sistemas de produção inteligentes, flexíveis e centrados no ser humano, visando superar as limitações dos sistemas de manufatura tradicionais e viabilizar a manufatura de produtos personalizados de alto valor agregado [7] [8] [9].

A montagem possui uma importância neste contexto, visto que é a última etapa da cadeia produtiva e responsável por formar o produto final. Por isto, vem ganhando atenção nos últimos anos [8] [10] [11]. Um dos resultados do desenvolvimento de novas tecnologias e novos métodos de montagem no contexto da I4.0 foi a abordagem conhecida como Montagem Inteligente. Esta visa a reconfiguração de linhas de

¹ Dados onipresentes: disponíveis em qualquer local e a qualquer momento.

² Interfaces: são o meio para interação entre elementos distintos que não podem se conectar diretamente [87].

montagem, de acordo com a variante do produto a ser montada. Assim como nos CPPS, isto se torna possível por meio da introdução de inteligência artificial nos processos de montagem e da interconexão de recursos por meio da internet, formando os novos ambientes de Montagem Inteligente intitulados de Sistemas de Montagem Físico-Cibernéticos (CPAS - *Cyber-Physical Assembly System*) [12]. A Montagem Inteligente tem alto potencial para atender às novas demandas de mercado e operar sob os novos paradigmas de produção oriundos da 4ª Revolução Industrial [13]. Outros benefícios previstos para esta abordagem são: maior controle e garantia de qualidade e segurança para o processo, resultando na montagem de produtos customizados com maior valor agregado [7] [8] [14] [15].

Entretanto, como toda tecnologia emergente, existem diversas exigências a serem atendidas e desafios a serem superados para de fato estabelecer os CPAS e assim viabilizar a Montagem Inteligente.

Baseada neste contexto, esta dissertação visa auxiliar com o desenvolvimento e a viabilização da abordagem Montagem Inteligente. Para tal, será proposto um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente, cuja motivação, contribuição e estrutura deste trabalho serão descritas nos tópicos a seguir.

1.1 Motivação

A Montagem Inteligente em CPS se mostra uma abordagem com potencial para atender à demanda por produção personalizada e além disso, pode trazer diversos benefícios e novas oportunidades para a indústria. Contudo, apesar de estar se tornando uma realidade na indústria, existem alguns desafios a serem superados para de fato tornar a Montagem Inteligente rentável.

Os sistemas inteligentes como os CPAS se tratam de ambiente interconectados complexos, os quais são constituídos por diversos recursos de diferentes fabricantes [16] [17]. Por este motivo, nos processos de Montagem Inteligente são geradas grandes quantidades dados heterogêneos [4] [18].

Além disso, no contexto da I4.0, uma planta é interconectada à elementos externos a ela, como por exemplo matriz da empresa, empresas terceirizadas, fornecedores e clientes, que utilizam sistemas distintos para se comunicarem entre si e também geram dados heterogêneos [19].

Somado aos fatores já mencionados, os sistemas de gerenciamento tradicionais ainda não acompanharam a evolução tecnológica dos sistemas de produção. Portanto, dado que os processos de manufatura inteligentes são orientados por dados digitais, torna-se complexo gerir tais dos processos [1].

Diante dos fatores expostos, torna-se necessário promover não só a padronização dos ambientes de manufatura inteligente, como também a evolução de sistemas de gerenciamento para que estes se tornem aptos a operar em ambientes interconectados abastecidos com dados heterogêneos originados de diferentes fontes [1] [20]. Tomando essa necessidade como base, foi idealizado o objetivo desta dissertação, que se trata da elaboração de uma proposta de um modelo para viabilizar o gerenciamento de informações relacionadas ao processo de Montagem Inteligente.

Outra motivação para a realização deste trabalho é o fato de que ele faz parte do projeto de pesquisa colaborativa entre Brasil e Alemanha BRAGECRIM #027/14 - *Smart Components within Smart Production Processes and Environments* - SCoPE (Componentes Inteligentes dentro de Processos de Produção Inteligentes). Isto possibilitou um intercâmbio para o desenvolvimento de parte deste trabalho no instituto de pesquisa DiK (*Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion*) da Universidade Técnica de Darmstadt.

Além disso, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

1.2 Contribuição da dissertação

Visando auxiliar com o desenvolvimento e a viabilização da Montagem Inteligente, foi identificado na literatura que grande parte dos desafios em comum referentes a esta abordagem estão relacionados a:

- Complexidade dos CPAS [7] [8] [17];
- Heterogeneidade e falta de padronização para troca de dados entre os diferentes recursos baseados em inteligência integrada [9] [12] [21];
- Heterogeneidade dos dados gerados nos processos [7] [13] [21], e;
- Sistemas tradicionais de gerenciamento da manufatura inapropriados para ambientes inteligentes interconectados [1] [7];

Desta maneira, a presente dissertação tem como principal contribuição a proposta de um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente, visando obter uma solução satisfatória que ajude na dissolução de problemas relacionados a gestão de dados heterogêneos em processos de Montagem Inteligente em CPS.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação foi estruturada em sete capítulos. A seguir, no capítulo dois, será apresentada a revisão bibliográfica, abordando o escopo da manufatura inteligente com foco nos sistemas de montagem físico-cibernéticos e na abordagem de Montagem Inteligente. Depois serão apresentados os objetivos e o método de trabalho no capítulo três. Em seguida, no capítulo quatro, será descrito como o método de trabalho foi desenvolvido. Posteriormente, os resultados serão demonstrados no capítulo cinco. Por último, no capítulo seis, serão relatadas as conclusões da dissertação. O capítulo sete contém o referencial bibliográfico que foi utilizado como base para o desenvolvimento do trabalho.

2 Montagem Inteligente em CPS

Este capítulo engloba a revisão bibliográfica desta dissertação, para sua elaboração foram utilizados 74 documentos, compostos em sua maior parte por artigos em periódicos internacionais indexados, livros e também relatórios oficiais de institutos de normatização. O procedimento que descreve as fases de pesquisa para o desenvolvimento desta revisão bibliográfica será descrito posteriormente no Capítulo 4.

A presente revisão bibliográfica visa abordar os conceitos de Sistemas de Montagem Físico-Cibernéticos e Montagem Inteligente dentro do escopo da iniciativa *Indústria 4.0*, também conhecida como manufatura inteligente. Para um melhor entendimento destes conceitos, este capítulo foi dividido em sete sub tópicos, iniciando com uma introdução e contextualização da Montagem Inteligente. Na sequência, serão abordados os temas Sistemas de Produção Físico-Cibernéticos, Sistemas de Montagem Físico-Cibernéticos e Montagem Inteligente, aplicações de Montagem Inteligente, desafios e soluções em potencial para a Montagem Inteligente em Sistemas Físico-Cibernéticos. Por último será feita uma abordagem sobre alguns pré-requisitos para o gerenciamento de dados em processos industriais e também sobre elaboração de modelos orientada a objetos com UML (Linguagem de Modelagem Unificada).

2.1 Introdução a Montagem Inteligente

Montagem é a etapa final da cadeia de produção industrial [10]. O processo se dá após a fabricação de componentes, os quais são unidos entre si (podendo primeiramente constituir subconjuntos) para formar um produto final [11] [12]. Um sistema de montagem tradicional geralmente é constituído por diversas estações que formam uma linha de montagem específica para uma gama de produtos [22].

Os processos de montagem têm relevância na manufatura, dado que esta consome mais de 40% dos custos e até 70% do tempo total de produção [11]. Portanto, é uma área propensa à investimentos e desenvolvimento de novas tecnologias quando se almeja a melhoria do processo.

Nas últimas décadas surgiram novos tipos de demanda e novas tendências de mercado que estão estritamente relacionados aos processos de montagem industrial, das quais se destaca o aumento da demanda por customização de produtos e de serviços. A tendência de produção personalizada, ilustrada pelo gráfico da Figura 1,

tem como impacto o encurtamento dos ciclos de vida dos produtos e a redução do tamanho dos lotes de produção, que tendem a ser unitários. Diante disso, para satisfazer esta nova demanda torna-se necessária a individualização dos processos de produção e de montagem [2] [3] [4] [23].

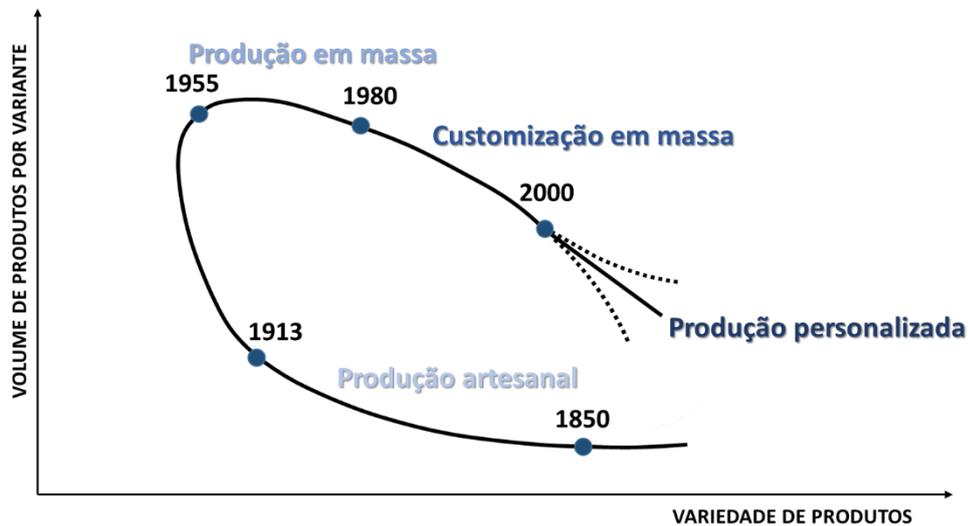


Figura 1: A tendência da produção personalizada, traduzida de Koren [23]

Entretanto, esta individualização afeta tanto o desenvolvimento do produto quanto o planejamento dos processos de montagem, tornando-os mais complexos [24]. Além disso, esta individualização desafia os métodos de produção e de montagem tradicionais.

Os métodos de produção e montagem tradicionais tendem a ser inflexíveis, o que torna difícil lidar com a alta variedade de produtos e com uma demanda flutuante de volumes de produção. Isto poderia causar o bloqueio de estações de trabalho e desbalanceamento na utilização de recursos [25]. Ademais, quando um sistema de montagem tradicional é reconfigurado durante a execução do processo, estas alterações normalmente não são nem encaminhadas para o departamento de planejamento de montagem, nem documentados de forma apropriada, ocasionando a assincronia de informações entre modelos planejados e processos de montagem reais, o que provavelmente resultará em problemas indesejados da produção [12].

Um conceito promissor para atender à crescente complexidade e individualização de produtos de forma eficiente é a transformação digital, contudo, é previsto que esta será acompanhada de diversos desafios econômicos e sociais [1]. Estes desafios são indicados na Figura 2 e serão discutidos mais detalhadamente ao longo deste capítulo.



Figura 2: Desafios econômicos e sociais da transformação digital, adaptado de ZVEI [1]

Visando atender às novas demandas e superar os desafios e limitações relacionados aos meios de produção e montagem tradicionais, foi idealizada a iniciativa *Indústria 4.0* (I4.0), que é caracterizada pela condução da transformação digital e visa à digitalização, coleta, armazenamento e análise de dados relacionados a objetos e sistemas para melhor controle e otimização da manufatura [1]. Outra característica da I4.0 é a introdução de inteligência na indústria, trazendo novos paradigmas para a manufatura e alterando a maneira de se fazer engenharia [2] [3] [5]. A I4.0 é uma iniciativa estabelecida com o objetivo de alcançar uma produção altamente flexível para fabricar pequenos lotes de produtos de maneira rentável [5]. Além disso, a ideia de se introduzir inteligência na indústria tem como princípio adicionar maior valor agregado ao produto por meio de processos tecnológicos que possam garantir maior controle, qualidade, eficiência e segurança na manufatura. Dessa forma, países industrializados passam a poder competir em um novo mercado mundial, visando lidar com produtos e mão de obra de baixo custo de alguns países orientais e também de países de terceiro mundo [7] [13] [14].

Dentro desses novos paradigmas, cada recurso na manufatura passa a ser constituído por Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS - *Cyber-Physical Systems*). Estes são sistemas de inteligência integrada, dotados de unidades de processamento que podem tanto se “comunicar” entre si e produzir efeitos no mundo físico (real), quanto

se interconectar com o mundo cibernético (virtual) em redes abertas, por meio de interfaces de comunicação sem fio baseadas em protocolos de internet [26] [27].

A interconexão dos CPS é viabilizada pelo uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), das quais se destaca a internet das coisas (IoT - *Internet of Things*), que tem o propósito de tornar todas as “coisas” (objetos) dentro de uma rede (ou sistema) comunicáveis. A fusão das tecnologias baseadas em internet com os CPS reduz as fronteiras entre os mundos físico e cibernético. Devido a troca de informações bidirecional, objetos podem refletir seus atributos físicos (ex.: o que são, onde estão, status, etc.) a uma identidade virtual no espaço cibernético. Com isso, estas informações podem ser processadas e em seguida distribuídas em redes e entre os sistemas envolvidos, permitindo assim tomadas de decisão mais inteligentes e em tempo hábil [8] [21]. Com a atual rapidez do desenvolvimento de novas tecnologias, em especial as TIC, a integração de competências como processamento e interconexão em objetos físicos está se tornando mais comum e, conseqüentemente, a aplicação de CPS se torna economicamente mais viável [28].

Como consequência desta transformação digital e tecnológica, a indústria está sendo revolucionada pela quarta vez, porém além de trazer benefícios e novas oportunidades (mencionados acima), traz consigo também alguns riscos, como [29]:

- Adaptação e padronização de recursos de manufatura tradicionais;
- Integração entre os vários níveis na organização;
- Integração de dados heterogêneos;
- Questões de segurança e proteção par evitar riscos de ataques criminais em redes.

Além do mais, a 4ª Revolução Industrial não implica em mudanças somente na manufatura, esta também pode ser considerada uma revolução tecnológica e social, alterando a maneira de como os seres humanos irão interagir com os meios de produção [1] [30].

Devido ao escopo deste trabalho, nesta dissertação serão apresentados os conceitos da introdução de inteligência nos sistemas de produção e de montagem, os quais se mostram promissores para atender às novas exigências da manufatura e possibilitar a produção personalizada.

2.2 Sistemas de Produção Físico Cibernéticos (CPPS)

Como efeito da 4ª Revolução Industrial, fomentada pela iniciativa I4.0, veio à tona o conceito “manufatura inteligente”. Este propõe não só a adição de inteligência, mas também a integração de todos os recursos dentro de uma unidade de produção, inclusive os recursos e partes interessadas além de suas fronteiras [8] [13].

A introdução de inteligência nos sistemas de manufatura se dá por meio do emprego de CPS, levando em conta todos os recursos envolvidos na produção e seus respectivos ciclos de vida. Matéria prima, componentes, subconjuntos, produto final, máquinas e equipamentos, bem como recursos humanos, passam a ser baseados em CPS [21]. Assim, um ambiente de manufatura constituído por recursos inteligentes baseados em CPS recebe o nome de Sistema de Produção Físico-Cibernético (CPPS - *Cyber-Physical Production System*) [4] [31]. Estes sistemas são caracterizados pelo uso de TIC, semântica, dados onipresentes – disponíveis em qualquer local e a qualquer momento – e interfaces de interação entre homem, máquina e sistema. Além disso, os CPPS podem ser vistos como uma nova abordagem para se obter melhor gerenciamento de informação e maior colaboração entre as diversas partes envolvidas no processo, resultando em maior valor agregado na produção. O objetivo é obter sistemas de produção inteligentes, flexíveis e centrados no ser humano, visando superar as limitações dos sistemas de manufatura tradicionais e atender às exigências por produção personalizada [7] [8] [9].

Em um ambiente CPPS, cada CPS passa a estar ciente de seus propósitos, de suas condições internas e do ambiente que os rodeia. Isto se torna possível devido a constante troca de dados entre eles e da disponibilização de informações em tempo real. O nível de inteligência proporcionado pelos CPPS supera as competências de automação da 3ª Revolução Industrial e, dentro dos contextos da I4.0, traz um novo paradigma de autonomia para a manufatura [7] [8] [21] [20].

Para possibilitar o desenvolvimento de processos inteligentes nos CPPS, existem questões a serem levadas em consideração, algumas delas são [8]:

- Interconexão;
- Endereço de IP único para cada recurso conectado à internet;
- Troca de informações entre recursos baseados em CPS e;
- Padronização de sistemas e recursos.

A interconexão entre os CPS de um ambiente de produção inteligente se dá por meio de interfaces de comunicação sem fio baseadas em protocolos de internet [26] [27]. Dessa forma, houve a necessidade de se adaptar a IoT para o ambiente industrial, originando então a Internet das Coisas Industrial (IIoT - *Industrial Internet of Things*). A IIoT tem potencial para agregar de valor na manufatura, dadas as suas características como robustez, configuração e operabilidade simples, disponibilidade de dados em tempo real, mineração de dados e também a confiabilidade, veracidade e segurança de dados e informações [9].

Para melhor entendimento do funcionamento dos CPPS é necessário saber como estes são estruturados, conscientizar-se da importância da informação nos sistemas de manufatura inteligentes e, além disso, compreender qual será o papel do ser humano nestes ambientes. Estas questões serão abordadas nos sub tópicos a seguir.

2.2.1 Estrutura dos CPPS

Um exemplo de estrutura CPPS é ilustrado na Figura 3, que consiste em um modelo de arquitetura que permite a colaboração entre diversos CPS distribuídos entre diferentes níveis e interconectados em rede.



Figura 3: Exemplo de arquitetura de um CPPS, adaptado de Cao et al. [32]

Na camada mais baixa desta estrutura, diferentes recursos baseados em CPS podem estabelecer uma conexão *Plug&Play*³ com o sistema, por meio de interfaces com ou sem fio. Além disso, estes recursos podem ser reconfigurados de acordo com diferentes exigências nos processos de manufatura, isto irá garantir a flexibilidade dos meios de e a adaptabilidade dos processos [32].

Atualmente, os CPS ainda são heterogêneos quanto a suas plataformas. Eles possuem diferentes sistemas operacionais, linguagens de programação e meios de comunicação. Levando isto em consideração, torna-se necessária a utilização de um *middleware* na camada intermediária da estrutura, intermediando os mundos físico e cibernético. O *middleware* torna os CPS componentes genéricos no sistema por meio de uma abstração uniforme, o que permite comunicação dinâmica e coordenação entre eles [32].

Na camada superior, diversas tecnologias e funcionalidades são desencadeadas na nuvem (mundo cibernético) por meio de uma interface entre ser humano e sistema. Exemplos dessas funcionalidades são: gerenciamento, planejamento de atividades, manufatura virtual, armazenamento e coleta no *Big Data*⁴, entre outros [32].

Outro ponto importante em CPPS é a modularidade. No âmbito da manufatura, modularidade é a divisão de um sistema complexo em subsistemas que interagem entre si. Cada subsistema corresponde a um módulo que pode representar diferentes elementos independentemente de sua natureza (elemento mecânico, elétrico, CPS, entre outros). Essa subdivisão em módulos pode ser associada a capacidade de um sistema em se auto reconfigurar, permitindo que este se torne flexível a mudanças e imprevistos [33].

2.2.2 Importância da informação nos sistemas inteligentes

A informação possui um papel central em sistemas inteligentes, dado que em ambientes como estes, cada CPS porta informações sobre si, coleta e processa dados ao longo de todo o seu ciclo de vida, e além disso, eles têm a capacidade de se comunicar com outros recursos. Dessa forma, produtos e componentes baseados em CPS se tornam agentes ativos no processo e passam a ser intitulados de Produtos e

³Tecnologias *Plug&Play* tem como objetivo tornar qualquer recurso CPS pronto para uso, de maneira que após ligados e conectados ao sistema, já estejam aptos a executar suas devidas funções de forma eficiente e efetiva, sem necessidades de pré-configurações [43].

⁴*Big Data* é o termo que descreve o imenso volume de dados armazenados em bancos de dados virtuais de forma estruturada ou não [80].

Componentes Inteligentes⁵ [5] [21]. Por meio da troca de informações entre si e outros recursos de produção, os Produtos e seus respectivos Componentes Inteligentes têm a habilidade de tomar decisões autonomamente e de reagir dinamicamente a eventos internos e externos a seus ambientes. Assim, nos sistemas inteligentes os produtos podem otimizar, diagnosticar e calibrar a si mesmos, bem como os outros componentes que os compõem e até mesmo o seu ambiente de manufatura (máquinas e equipamentos). Como consequência disso, os Produtos Inteligentes são capazes de guiar seu próprio processo produtivo de forma flexível [4] [13].

Em ambientes inteligentes interconectados, os CPS podem reproduzir no mundo cibernético tudo o que ocorre durante o processo físico, de maneira que todos os dados relacionados a produção como status do processo, fluxos de pedidos e materiais; custos e qualidade do produto sejam integrados em um banco de dados virtual e disponibilizados em tempo real [8] [13]. Isto favorece a integração horizontal das partes envolvidas ao longo da cadeia de agregação de valor, bem como a integração vertical de elementos participantes do processo em todos os níveis de uma organização, do chão de fábrica à gerência [4] [5].

O grau de inteligência de um sistema inteligente está relacionado à capacidade que ele possui de lidar com informações [28]. No contexto da I4.0, os dados devem ser convertidos em conhecimento para possibilitar a tomada de decisão (ação) eficiente [34]. Este procedimento utiliza como base o princípio do modelo ilustrado na Figura 4.



Figura 4: Pirâmide de transformação de dados em conhecimento [34]

⁵Neste trabalho entende-se “componente” como cada peça individual que foi produzida e “produto” como elemento formado pela união entre um ou mais componentes.

Em um ambiente inteligente, medições aferidas por sensores geram dados. Estes são coletados e processados por CPS e armazenados em bases de dados, como o *Big Data*, com o propósito de gerar informação. Posteriormente essa informação é analisada por *softwares* inteligentes, gerando então conhecimento, que posteriormente é distribuído entre diversos níveis, visando contribuir para tomadas de decisão eficientes no intuito de otimizar o desempenho dos processos [7] [8] [27].

Contudo, existem alguns pré-requisitos que os recursos baseados em CPS devem atender para trocarem dados e informações em sistemas inteligentes [28]:

- Possuir uma identificação globalmente única;
- Estar apto a portar e armazenar informação sobre si mesmo;
- Monitorar continuamente sua condição/status e seu ambiente;
- Reagir e adaptar-se às condições operacionais e do ambiente;
- Manter um desempenho otimizado;
- Compartilhar informações de forma ativa e dinâmica com outros usuários, ambientes, produtos e sistemas.

É importante destacar que, conforme os sistemas e processos de manufatura se tornam mais complexos, aumenta a quantidade de dados e informações geradas. Além disso, levando-se em conta a grande quantidade de dados gerados por sistemas heterogêneos, torna-se um desafio processar e armazenar tamanha quantidade de informações. Assim, torna-se necessário o uso de filtro de informações e de técnicas de mineração de dados [7] [28].

2.2.3 Papel do ser humano

Apesar dos componentes se tornarem agentes ativos na produção, isto não elimina o papel dos seres humanos na manufatura inteligente. Independentemente do nível de automação da indústria, os seres humanos são responsáveis pelo funcionamento da fábrica e possuem a habilidade de agir em resposta a qualquer situação, em especial aqueles que são mais qualificados [13].

Embora exista uma tendência de minimização de atividades manuais e controles analógicos ao passo que tecnologia evolui, é praticamente impossível e economicamente inviável automatizar todas as atividades de uma unidade de

produção. Portanto, as operações manuais continuarão existindo [11]. Quando comparados aos recursos automatizados, seres humanos são igualmente dispendiosos, porém, menos precisos e eficientes. Portanto, sugere-se que seres humanos sejam empregados de maneira que agreguem maior valor na produção, como na tomada de decisões e em atividades manuais com assistência tecnológica, por exemplo [9] [13].

Em ambientes inteligentes, os seres humanos passam a interagir de forma colaborativa com recursos baseados em CPS. Eles podem, por exemplo, ser auxiliados por dispositivos móveis baseados em realidade aumentada (AR - *Augmented Reality*). Esta colaboração tem potencial para melhorar o desempenho de atividades manuais, além de favorecer a geração conhecimento de forma mais transparente e agregando mais valor ao processo. A execução de tarefas manuais auxiliada por ferramentas digitais contribui para a otimização de tarefas cognitivas, informatização, fluxo de informação e atividades de controle [3] [7] [9], como ilustra a Figura 5.



Figura 5: Manufatura colaborativa centrada no ser humano, adaptado de Heilala et al. [7]

O cérebro humano tem capacidade limitada de processamento de informações. Desta forma, uma pessoa provavelmente demoraria para analisar grandes quantidades de dados⁶ e isto é indesejável em casos de tomadas de decisão importantes e/ou em situações de urgência. Visando solucionar esta questão, os CPS passam a ser empregados para auxiliar o ser humano em tomadas de decisões mais eficientes. Contudo, o fornecimento de informações ao ser humano pode ser uma questão crítica, dado que é necessário fornecer informação com granularidade apropriada, de maneira que não haja dados nem além, nem aquém do necessário [7].

Um outro ponto é a estrutura organizacional de uma empresa. Recomenda-se que cada nível corporativo tenha um tipo de permissão distinto para acessar diferentes tipos de informação. Dessa forma, as informações armazenadas nos sistemas inteligentes devem ser disponibilizadas levando em conta o nível hierárquico do colaborador [7] [9].

Além disso, para que o ser humano possa fazer parte dos novos ambientes inteligentes é necessário que ele esteja capacitado e qualificado para trabalhar com as novas tecnologias digitais [16] [35].

Em se tratando de colaboração entre CPS e seres humanos, existe uma abordagem emergente, que sugere o trabalho colaborativo entre humanos e robôs dentro de ambientes inteligentes [15]. Esta abordagem também é apoiada por Cao et al. [32], que destacam seu grande potencial para trazer flexibilidade e melhorar significativamente a eficiência dos processos de manufatura inteligente.

2.3 Sistemas de Montagem Físico Cibernéticos (CPAS)

De forma similar aos CPPS, em que CPS são introduzidos a fim de tornar os processos de produção inteligentes, quando os CPS são empregados em um sistema de montagem, estes formam o chamado sistema de montagem físico-cibernético (CPAS - *Cyber-Physical Assembly System*), no intuito viabilizar o conceito de Montagem Inteligente [31].

É importante destacar, que antes da 4ª Revolução Industrial já havia um conceito de Montagem Inteligente. Contudo, o termo “Inteligente” neste conceito está relacionado à robustez contra variações de projeto e tinha como propósito possibilitar que a

⁶ Os sistemas inteligentes geram quantidades de dados ainda maiores quando comparadas aos sistemas de produção tradicionais.

montagem de um determinado produto absorvesse ou cancelasse os efeitos de variação dimensional entre os componentes fabricados. Segundo Downey [36], a Montagem Inteligente pode ser dividida em:

- Passiva: que absorve a variação durante o processo de montagem, a qual logo em seguida é corrigida;
- Ativa: que se adapta automaticamente à variação conforme ela ocorre ao longo do processo de montagem.

Neste contexto, uma solução proposta por Downey para absorção de variação na montagem é a utilização de “funcionalidades inteligentes” nos componentes, como por exemplo a ranhura dupla, ilustrada na Figura 6.

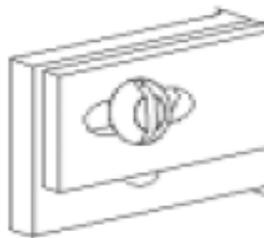


Figura 6: Ranhura dupla - funcionalidade inteligente [37]

Contudo, o conceito de Montagem Inteligente em CPS abordado neste trabalho (pós 4ª Revolução Industrial) vai além disso. Este visa obter um sistema que se adapte de maneira dinâmica e flexível ao produto a ser montado [31]. A Montagem Inteligente em CPS tem potencial para atender às novas demandas de mercado e operar no contexto dos novos paradigmas de produção resultantes da I4.0. Isto se deve ao fato de que, dentre as suas características, estão incluídas a incorporação de aprendizagem, reconfigurabilidade, colaboração homem-máquina e técnicas de montagem baseadas em modelos geométricos (provenientes de sistemas CAD - *Computer Aided Design*), com o objetivo de otimizar eficiência, custo, flexibilidade, capacidade de resposta e qualidade dos processos de montagem [38].

A essência dos CPAS está na forma de integrar diversos elementos do sistema que estão relacionados ao processo de montagem [12] [16] [39]. Segundo Camelio [13], essa integração consiste em cinco elementos básicos, ilustrados na Figura 7, que serão detalhados nos sub tópicos a seguir.



Figura 7: Os cinco elementos essenciais da Montagem Inteligente [13]

2.3.1 Produto

Um dos principais objetivos da Montagem Inteligente, é obter um sistema flexível no qual um CPAS seja capaz de montar qualquer variante de uma família de produto [13]. Em um processo de Montagem Inteligente ideal, todas as estações de montagem são prévia e dinamicamente ajustadas de acordo com a especificação de cada produto a ser montado. Para qualquer alteração de design necessária, ocorre uma validação virtual antes que esta seja efetivamente introduzida no processo, porém, isto exige a integração entre as equipes de desenvolvimento do produto e de planejamento do processo. Além disso, recomenda-se que no projeto de uma família de produtos seja levado em consideração o uso de componentes em comum entre suas variantes, além disso, deve haver um detalhamento claro de seus processos de montagem para garantir a flexibilidade do sistema [13].

De maneira análoga aos CPPS, os CPAS também são constituídos por Produtos e Componentes Inteligentes. Logo, cada Componente Inteligente de um produto pode indicar ao CPAS com qual(is) componente(s) deve(m) ser combinado(s) para formar subconjuntos (se necessário) e/ou o produto final. Além disso, os Componentes Inteligentes podem indicar em qual estação de trabalho e com quais parâmetros o(s) processo(s) de montagem deve(m) ser executado(s). Após finalizados, durante a fase de uso, os produtos inteligentes podem enviar um feedback de suas condições de trabalho para os setores de desenvolvimento e planejamento da empresa que os

produziu, contribuindo para a melhoria contínua do produto e do processo. Isto resulta em um planejamento mais eficiente e inteligente [4] [5].

Vale destacar que, devido as tendências de produção personalizada com lotes unitários, na Montagem Inteligente em CPS cada produto montado, bem como seus respectivos componentes passam a ser considerados únicos [4] [5] [12].

De fato, dependendo da perspectiva analisada, todo produto fabricado é único. Adversidades como variabilidade no processo e desgaste de ferramentas, afetam a dimensão de cada componente produzido. Portanto, mesmo que sejam estabelecidas dimensões nominais dentro uma margem de tolerância, cada componente terá uma dimensão real única, como ilustra a Figura 8 [40].

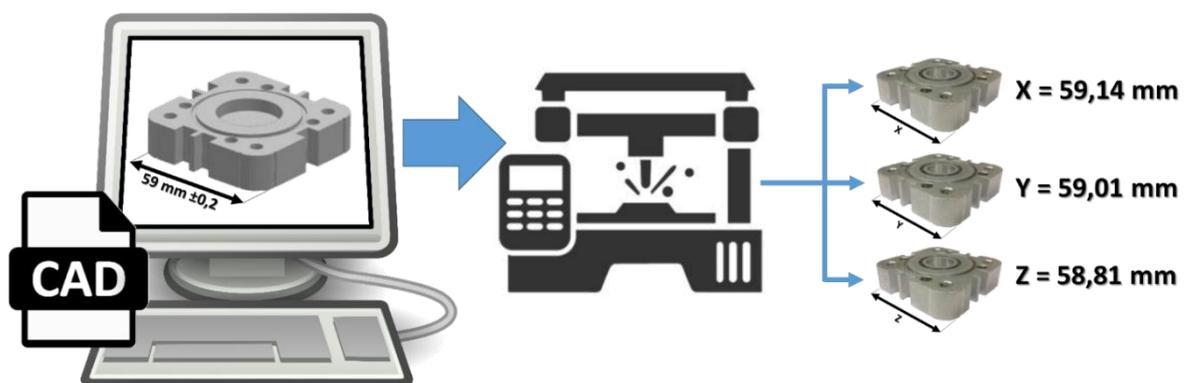


Figura 8: Dimensão real única de componentes, adaptado de Picard [4]

A variabilidade dimensional é uma questão relevante nos processos de montagem, portanto, é levada em consideração na abordagem Montagem Inteligente em CPS. Isto pode ser útil em processos que exigem precisão de montagem [4] [5] [30].

2.3.2 Pessoas

Embora sistemas de montagem modernos utilizem cada vez mais automação, é importante que estes sejam centrados nos seres humanos [8]. Pois como já destacado anteriormente, os seres humanos são responsáveis pelo funcionamento da fábrica e possuem a habilidade de agir em resposta a qualquer situação [13]. Dessa forma, a flexibilidade humana pode ser vista como uma solução para encarar a complexidade [16]. Logo, o ser humano passa a ter um papel fundamental nos CPAS [3] [8].

A abordagem de Montagem Inteligente visa um equilíbrio entre pessoas e recursos baseados em CPS [39]. Para garantir melhor desempenho dos processos de Montagem Inteligente quanto a flexibilidade, eficiência e segurança, recomenda-se

que o operador não realize tarefas repetitivas durante um longo período. Além disso, é aconselhável evitar que os seres humanos executem atividades em que recursos automatizados são mais eficientes [13].

Em ambientes inteligentes, o ser humano passa a ter a assistência de informação digital. Visto que os processos dentro de CPAS são complexos e que podem variar continuamente, a assistência de informação ao ser humano pode otimizar tanto a tomada de decisões quanto a qualidade do trabalho manual, assegurando não só uma transferência imediata de informação atualizada para o ser humano, mas também um feedback das atividades e modificações realizadas no local de trabalho para as equipes de planejamento [11].

Entretanto, para que as pessoas possam fazer parte dos CPAS, torna-se um pré-requisito a capacitação e treinamento para que estes estejam aptos a trabalhar com as novas tecnologias digitais baseadas em internet [9] [21] [39].

2.3.3 Processos, equipamentos e ferramentas

Processos, equipamentos e ferramentas devem garantir a qualidade e confiabilidade do processo para agregar valor ao produto montado [5] [13].

Como nos CPAS, as estruturas das estações de trabalho devem ser dinâmicas e flexíveis, recomenda-se planejar a disposição de recursos para o *layout* das plantas, considerando possibilidade de alterações/relocações de maneira eficiente. Uma outra exigência importante neste contexto é a utilização de equipamentos de movimentação de materiais que assegurem flexibilidade, como, por exemplo, correias transportadoras sensorizadas, veículos automaticamente guiados e robôs. Isto permitirá ao CPAS realizar ajustes *just-in-time*⁷ face às prováveis variações e flutuações no processo [8] [13].

Com a produção personalizada os ciclos de inovação dos produtos tendem a ser cada vez mais curtos. Assim, torna-se necessário um desenvolvimento mais ágil e eficiente, o que também demanda a integração entre as engenharias de desenvolvimento do produto e de planejamento do processo. Uma ferramenta com potencial para atender esta exigência é a simulação virtual. Por meio dela, o desenvolvimento do produto e do respectivo processo de montagem podem ser validados virtualmente antes de serem implementados no mundo físico. Além disso, a troca de informação e

⁷O modelo de gestão *just-in-time* propõe que a produção seja feita de acordo com a demanda [55]

conhecimento entre vários departamentos em um ambiente dinâmico, possibilitada pelos CPAS, pode atender exigências por ciclos de inovação mais curtos, aumento da produtividade, minimização de riscos e aumento de conhecimento dos processos [8] [13].

Nos sistemas de manufatura tradicionais, o planejamento dos processos normalmente é baseado em dados pré-estabelecidos e não com dados reais dos processos. Isto pode ocasionar sérios problemas (como gargalos, por exemplo), pois os processos no chão de fábrica estão sujeitos a perturbações e caso uma variável do processo saia da margem nominal planejada, o desempenho geral de todo o sistema pode ser afetado [16]. Entretanto, devido ao feedback de informações em tempo real fornecido pelos recursos CPS, o planejamento de processos nos CPAS passa a ser baseado em dados dinâmicos que são disponibilizadas em tempo real e em conformidade com os processos executados [4] [5] [16].

Além disso, segundo Dombrowski [16], existem alguns pré-requisitos para viabilizar a abordagem de Montagem Inteligente em CPAS de forma rentável, são eles:

- Alta taxa de utilização: ela é necessária para atingir a amortização de equipamentos de alto custo na manufatura. Na produção de grandes lotes de produtos, a tendência é que a amortização seja atingida mais rapidamente devido à alta taxa de utilização da capacidade produtiva. Já no caso de produtos customizados em lotes pequenos ou até unitários, torna-se mais difícil atingir a amortização. Contudo, considerando o contínuo aumento da demanda por produtos customizados esta questão não será um problema [23];
- Design de trabalho ergonômico: é importante obter condições de trabalho favoráveis ao ser humano, considerando fatores físicos, mentais e organizacionais. Além disso, devido ao trabalho colaborativo homem-máquina, questões relacionadas à segurança devem ser levadas em consideração;
- Estrutura modular: exigência para que o CPAS possa reagir de maneira flexível a variações no processo, evitando gargalos ou *buffers* ocultos na cadeia de montagem. O uso de estrutura modulares permite que módulos adicionais sejam anexados (ou removidos) à linha de montagem, segundo a necessidade do produto que será montado na linha. Contudo, isto requer a utilização de interfaces padronizadas para permitir a interconexão entre diferentes estações e módulos nas linhas de montagem;

- Sincronização: a sincronização de processos e fluxo de material ao longo de toda a cadeia de montagem é outro pré-requisito importante.

Além do mais, os CPAS demandam novas ferramentas e métodos de planejamento para processos complexos de Montagem Inteligente. Por esta razão já existem algumas abordagens em desenvolvimento, são elas MMA⁸ (*Mixed Model Assembly*) e DfA⁹ (*Design for Assembly*) [13] [39].

Para atender tais exigências, os futuros sistemas de manufatura inteligente devem estar aptos não só a integrar informação e conhecimento de diversas fontes, oriundas de seres humanos, máquinas e sistemas, mas também distribuí-los [10]. Esta questão será discutida no sub tópico seguinte.

2.3.4 Informação

Como mencionado anteriormente, a Informação possui um papel central nos sistemas inteligentes. Portanto, é importante que a informação tenha um fluxo bidirecional contínuo entre os mundos físico e cibernético ao longo de toda a cadeia de valor do processo de Montagem Inteligente. Isso irá permitir que informações de cada recurso CPS sejam obtidas a qualquer instante [4].

Em um processo de Montagem Inteligente, cada Componente Inteligente é um portador de informações. Isto o torna um agente ativo na manufatura, que pode orientar a si próprio no processo de montagem em um CPAS para constituir um produto final [5] [21]. Contudo, ainda existem desafios relacionados à interação entre produtos/componentes e recursos CPS por meio da troca de informações. Uma solução em potencial para esta questão é modelo de dados integrado do componente (ICDM - *Integrated Component Data Model*), ilustrado na Figura 9. Este modelo estabelece a semântica para a troca de informações entre os Produtos e Componentes Inteligentes e recursos CPS da planta. O modelo consiste em um repositório virtual individual de cada componente constituinte de um produto. Este repositório virtual pode armazenar dados de processos do mundo real de forma estruturada, para que posteriormente estes possam influenciar dinamicamente o processo de montagem [41].

⁸MMA: Prática de montagem de modelos variados de um produto na mesma linha (ou células) de produção para minimizar as mudanças, sendo capaz de sequenciar tais modelos e alcançar a produção de componentes segundo a demanda [39].

⁹DfA: Processo que visa aprimorar o projeto do produto, considerando uma montagem simplificada e de baixo custo, com foco simultâneo na funcionalidade e na facilidade de montagem [56]

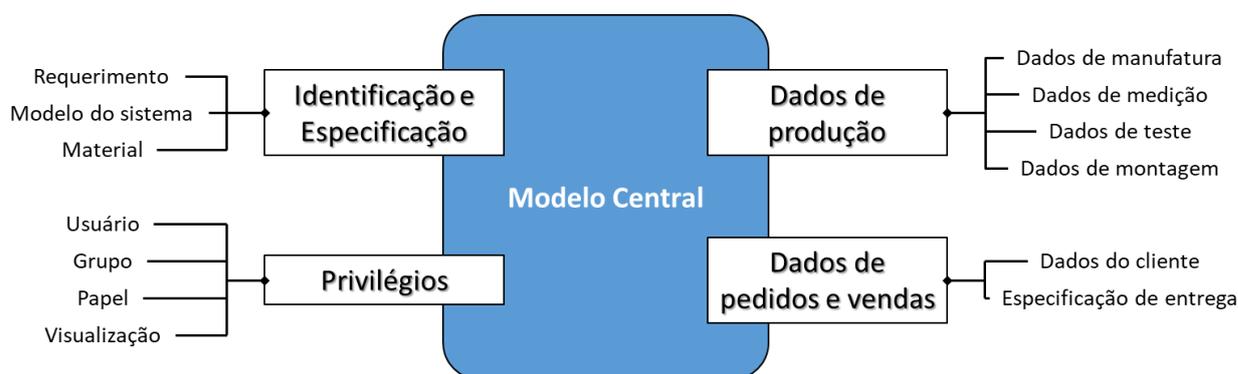


Figura 9: Modelo de dados integrado do componente [4]

Um ICDM é formado por um modelo de informação central, composto por outros modelos de informação parciais. O modelo de informação central especifica a identificação, endereçamento, localização, informação administrativa e organizacional, bem como a representação geométrica. Os quatro modelos de informação parcial:

- I. Identificação e especificação;
- II. Dados de produção;
- III. Dados de pedidos e vendas;
- IV. Privilégios¹⁰.

Modelos de informação parciais incluem dados resultantes de outros processos virtuais e físicos como a simulação, manufatura e montagem. Devido as características modulares do ICDM, cada modelo parcial amplia ainda mais o modelo central e para tal, eles devem levar em consideração os seguintes pré-requisitos [41]:

- Integridade: exatidão/veracidade semântica de informação;
- Coerência: correlação de informação sem transformação;
- Acumulação: representação explícita de todas as informações relevantes;
- Associação: resultado/originado da informação implícita.

¹⁰ Responsável pelo controle dos direitos de acesso, visualização e modificação de informações dos usuários.

Desta forma, o ICDM pode ser utilizado para indicar ao CPAS quais componentes devem ser montados para formar um produto final, em qual estação de trabalho e com quais parâmetros os processos de montagem devem ser executados [4].

Dado que o ICDM pode coletar informações ao longo de todo o ciclo de vida do produto e de seus componentes, os produtos podem ser abastecidos com dados relevantes dos processos de fabricação e montagem, de utilização, qualidade e até mesmo de reciclagem. Isto favorece a integração entre o desenvolvimento do produto e o planejamento do processo, além disso contribuí para um controle e monitoramento otimizado dos processos de montagem [4] [5] [21].

Como já mencionado anteriormente, para que a informação se torne de fato útil em sistemas inteligentes, ela deve se tornar conhecimento. Camelio [13] sugere que para viabilizar a Montagem Inteligente e atingir um estado de conhecimento, os recursos dos CPAS devem conter informações sobre a sua própria condição e a localização de qualquer outro recurso a qualquer instante. Isto irá viabilizar não só tomadas de decisão mais precisas, como o dinamismo e flexibilidade *just-in-time* do CPAS.

Contudo, apesar dos progressos tecnológicos das TIC, ainda existe a falta de sistemas de gestão de dados adequados para processos em ambientes inteligentes, o que torna o gerenciamento de dados e informações em CPAS uma tarefa complexa. Para um fornecimento correto de dados e informações, deve-se levar em consideração alguns fatores como quantidade, formato, tempo e local, como ilustra a Figura 10 em um exemplo de troca de informações em um processo de montagem [10].

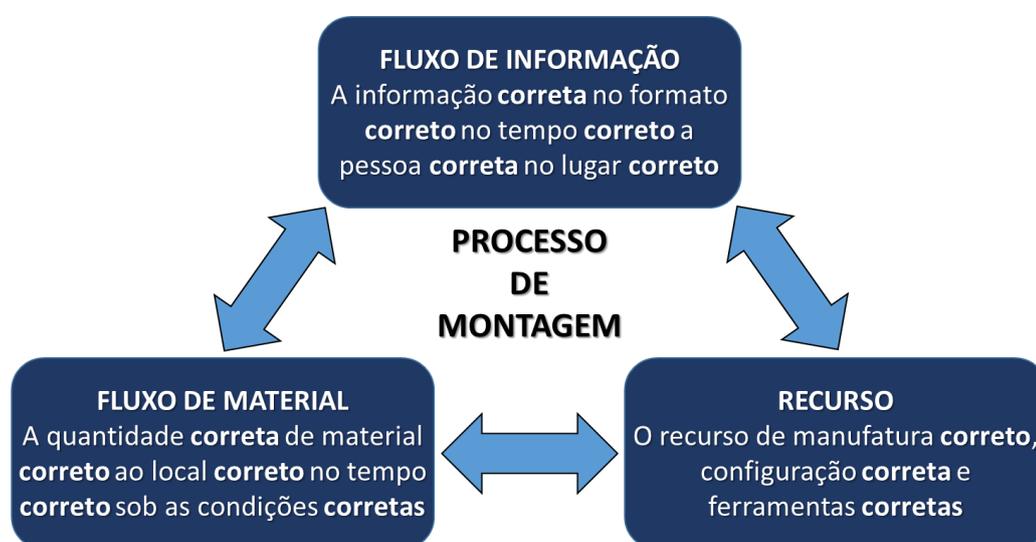


Figura 10: Fluxo de informações no CPAS, adaptado de Heilala et al. [10]

Diante disso, percebe-se a necessidade de um sistema de gerenciamento de troca informação nos processos de Montagem Inteligente, o qual será abordado mais detalhadamente no tópico 2.6.

2.3.5 Tecnologia

De uma forma generalizada, os elementos que constituem os CPAS são recursos baseados em CPS e as TIC¹¹. O emprego dessas tecnologias promove competências de interconexão e armazenamento, processamento e compartilhamento de dados, o que possibilitará a flexibilidade e autonomia dos processos de Montagem Inteligente [7] [14] [42].

Além de CPS e TIC, existem diversas tecnologias em potencial e necessárias no contexto da Montagem Inteligente. Algumas delas serão abordadas a seguir:

- **Tecnologia de identificação:** a tecnologia de identificação mais promissora no âmbito da Montagem Inteligente é a identificação por radiofrequência de (RFID - *Radio Frequency Identification*). Devido as diversas possibilidades de aplicação e uso cada vez mais frequente na indústria, o emprego do RFID está se tornando mais viável. No âmbito dos CPAS, *tags* (etiquetas) RFID são normalmente etiquetadas em componentes e produtos a fim de possibilitar não só a identificação e comunicação dos mesmos com os recursos de montagem, mas também o monitoramento dos mesmos. Além de auxiliar os processos de montagem de forma eficiente, o RFID também pode ser empregado no rastreamento de produtos estocados, trazendo benefícios para o setor de logística [2] [20] [43] [44]. Outras tecnologias de identificação que podem ser aplicadas nos processos de Montagem Inteligente são *Near Field Communication* (NFC) e códigos bidimensionais, como o código de barras, *Data Matrix Code* (DMC) e *Quick Response Code* (QR Code) [4] [30] [34]
- **Tecnologia de manipulação:** um conceito em potencial para se obter flexibilidade nos processos de montagem é a aplicação de robôs na manufatura. Nos últimos anos, a utilização de robôs na manipulação de objetos nos processos de montagem está se tornando cada vez mais frequente. Uma tendência atual no

¹¹ No escopo deste trabalho entende-se “recursos baseados em CPS” como os recursos (máquinas e equipamentos) de uma planta de manufatura e também os Produtos e seus respectivos Componentes Inteligentes; e “TIC” como o meio que irá possibilitar interconexão entre estes recursos CPS através da troca de dados.

âmbito dos CPAS é o desenvolvimento de novas abordagens que visam desenvolver o trabalho colaborativo entre manipuladores robóticos e humanos [8] [15] [32].

- **Tecnologias de auxílio ao ser humano:** duas dentre as principais tecnologias de auxílio ao ser humano são a realidade aumentada (AR - *Augmented Reality*) e a realidade virtual (VR - *Virtual Reality*) [8]. Tecnologias de AR fornecem informações via sobreposição de objetos virtuais sobre o local de trabalho do operador (mundo real), visando auxiliá-lo a executar o processo de montagem de forma mais eficiente [45]. Já VR é um ambiente artificial com características de imersão e interação, que propicia múltiplos canais sensoriais, sendo ideal para simulação e planejamento [46]. Outra tecnologia de auxílio muito importante no âmbito da Montagem Inteligente é a simulação baseada em dados dinâmicos¹², que tem como objetivo lidar com a necessidade de desenvolvimento mais rápido de produtos e com o aumento da complexidade dos sistemas de manufatura. Esta abordagem utiliza competências dos CPS na simulação para elaborar modelos abastecidos com dados coletados em tempo real. Esta tecnologia de simulação inteligente permite ciclos de análises mais ágeis, harmonização de dados entre modelo de simulação e chão de fábrica, tomadas de decisões mais precisas e até mesmo construção automatizada de modelos, dependendo do nível de inteligência do CPAS [47].
- **Tecnologias *Plug&Play*:** visando atender às demandas por tecnologias de fácil implementação, o desenvolvimento de tecnologias *Plug&Play* está se tornando uma tendência no âmbito dos CPAS. O objetivo é tornar qualquer elemento CPS pronto para funcionamento sem necessidades de pré-configurações, de maneira que após sua instalação no sistema, este já esteja apto a operar executando a sua devida função de forma eficiente e efetiva [8] [31] [32] [43].
- **Tecnologias híbridas:** um dos objetivos da Montagem Inteligente é a integração entre todos os elementos da manufatura, visando principalmente um alto nível de interação entre homem e máquina [16] [30]. Além do mais, atualmente a automatização de processos complexos para produção de produtos em pequenos lotes pode ser economicamente inviável. Diante disso, uma alternativa a ser considerada é utilizar a flexibilidade dos seres humanos nos processos dos CPAS. Desse modo, foram desenvolvidas tecnologias para processos de montagem

¹² Dados que estão sendo utilizados do momento da execução do processo.

híbridos (apresentado no tópico 2.4), que combinam a flexibilidade dos seres humanos com as competências de recursos inteligentes baseados em CPS. Dentro de um CPAS, processos de Montagem Inteligente híbridos podem ser executados por seres humanos de maneira segura e em alto nível de desempenho [16].

De uma maneira geral, o uso destas tecnologias emergentes – quando comparadas a tecnologias tradicionais – tem potencial para obter maior nível de qualidade e segurança; e menores custos para o processo, que passa a reagir de forma dinâmica a eventos internos e externos, possibilitando a formação de produtos customizados com o maior valor agregado possível [8] [13] [15].

2.4 Aplicações de Montagem Inteligente

A flexibilidade dos CPAS permite diversas aplicações de Montagem Inteligente. Na literatura foram identificadas algumas aplicações relevantes de Montagem Inteligente, que serão descritas e detalhadas abaixo:

- **Montagem Inteligente flexível:** um exemplo prático desta abordagem pode ser encontrado na *iFactory* da Universidade de Windsor no Canadá. Esta fábrica possui uma estrutura modular, que pode ser facilmente reconfigurada de acordo com as diferentes variantes de produto solicitadas pelo cliente, como ilustra a Figura 11. Todos os módulos são equipados com um sistema de feedback de topologia¹³, para que o sistema de controle reconheça automaticamente a configuração da linha [8].

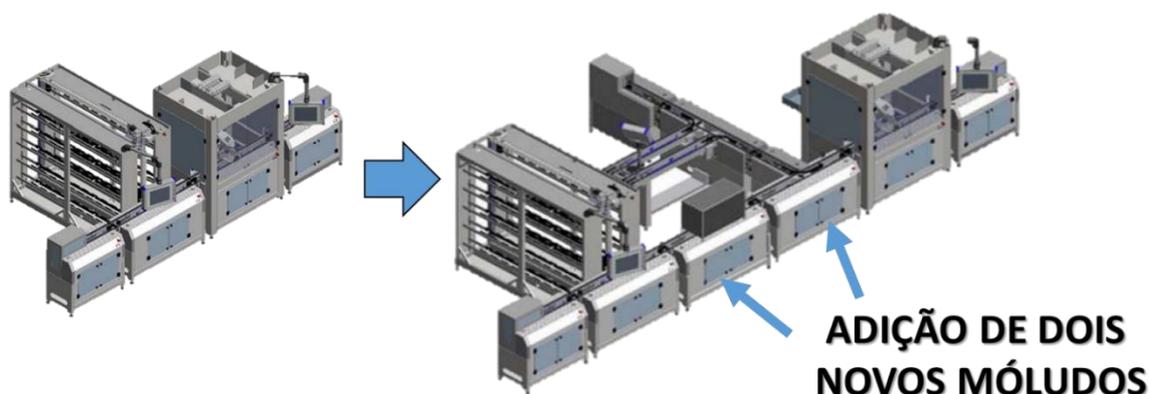


Figura 11: Estrutura modular na iFactory [8]

¹³Feedback de topologia: aquisição da disposição atual dos equipamentos e módulos que constituem a linha de montagem; e envio da informação para o(s) setor(es) responsáveis pré-estabelecidos.

- **Montagem seletiva Inteligente:** montagem seletiva é uma abordagem aplicada em produtos que exigem precisão na montagem. O objetivo é selecionar dentre os componentes disponíveis para montagem, quais pares melhor se encaixam entre si, levando em consideração as suas tolerâncias. Para tal, é necessário medir e identificar todos os componentes fabricados apropriadamente e em seguida associá-los de forma que não haja folga ou interferência de montagem. A inteligência do sistema está por trás da organização de dados para “encontrar” os componentes que melhor se combinam, por meio de modelos de dados do componente [4] [5]. Uma aplicação deste método foi desenvolvida por Strang e Reiner [5], visando a efetuar uma montagem seletiva inteligente entre a tampa e o corpo de um cilindro pneumático, como ilustra a Figura 12.

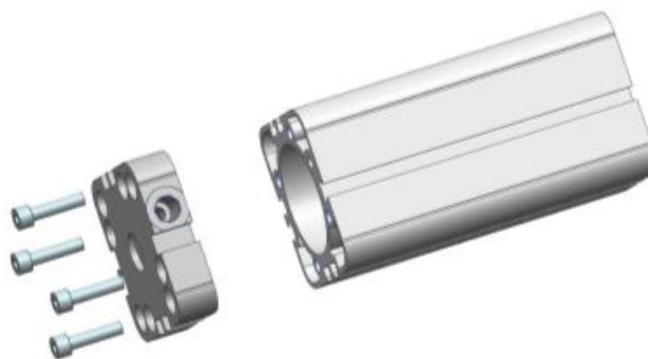


Figura 12: Componentes do cilindro pneumático [5]

- **Montagem Inteligente em sistemas distribuídos:** como resultado das novas possibilidades e estratégias de negócios resultantes da I4.0 e a possibilidade de fabricação de componentes em diferentes recintos ao redor do mundo todo, surgiu a ideia de se alocar a montagem final dos produtos próximo a localização dos clientes. Esta abordagem pode ser viabilizada por meio da Montagem Inteligente em CPS [14]. Não só a montagem em si, mas também o controle de qualidade pode ser realizado em sistemas de manufatura distribuídos, como mostra o trabalho desenvolvido por Haag et al. [39]. Em que, após processos de manufatura *offshore*¹⁴ as peças a serem montadas são precisamente medidas e todas as informações relevantes para o controle do processo e inspeção dos componentes são enviadas para a matriz, afim de que a tomada de decisões de aprovação ou rejeição possam ser efetuadas lá;

¹⁴ *Offshore*: local de produção distante da matriz.

- **Estações de montagem híbridas:** um exemplo de aplicação industrial de recursos híbridos na Montagem Inteligente é o *Plant@Hand*, proposto por Aehnelt e Bader [48]. O sistema como um todo foi desenvolvido para fornecer assistência de informação ao ser humano de maneira flexível. O *Plant@Hand* se trata de uma estação móvel e conta com uma arquitetura que permite autoaprendizagem e geração de conhecimento por meio da análise de situações específicas de trabalho. Dessa forma, ele pode fornecer instruções de montagem otimizadas para o operador humano. Uma outra aplicação de estação híbrida foi desenvolvida por Sand et al. [3]. Estes autores desenvolveram um sistema chamado de *smARt.Assembly*, que fornece auxílio baseado em AR ao ser humano para execução de operações manuais de Montagem Inteligente. O *smARt.Assembly* utiliza da tecnologia de projeção para sobrepor objetos virtuais na estação de montagem do operador, como ilustra a Figura 13. Dois tipos de informação são fornecidos para o operador, sendo elas a localização dos componentes e as etapas do processo de montagem. A estação é equipada com um projetor, que destaca na prateleira de componentes a localização do componente que será utilizado em uma determinada etapa da montagem. Paralelamente, em um monitor, são exibidas passo-a-passos as etapas do processo de montagem.

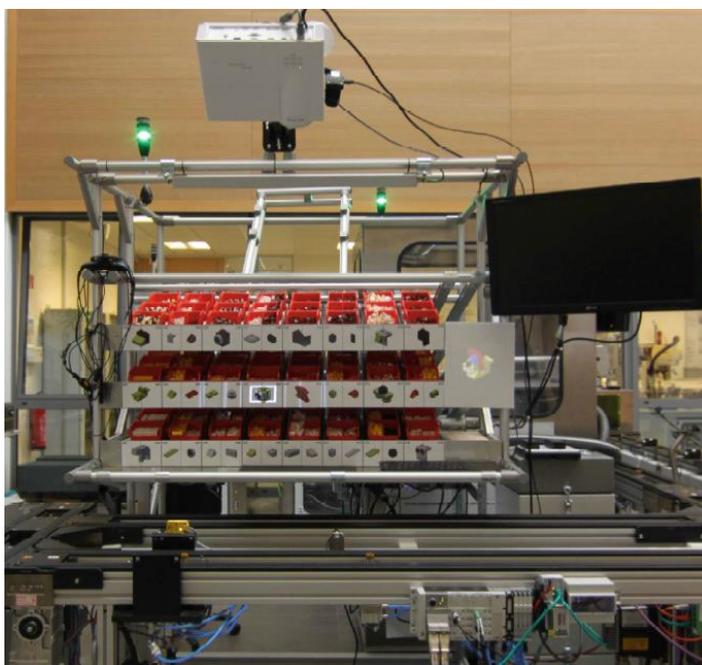


Figura 13: *smARt.Assembly* - Sistema híbrido de Montagem Inteligente [3]

O projetor é instalado acima da cabeça do operador, evitando que sombras de projeção o atrapalhem. Além disso, foram instalados dois pedais de *input*, um para passo seguinte e um para passo anterior da montagem. Dessa forma, o operador

pode alternar a visualização das etapas da montagem sem ter que desocupar suas mãos, favorecendo o aumento da eficiência e ganho de produtividade.

- **Montagem Inteligente de micro produtos:** devido ao alto grau de dificuldade na montagem de micro-produtos, uma nova abordagem para empregar a Montagem Inteligente em CPS em uma escala de produtos menores é proposta por Bruzzone [49]. O autor enfatiza que a abordagem de Montagem Inteligente fornece as ferramentas necessárias para enfrentar os desafios da micro-manufatura, como por exemplo, o controle da variabilidade geométrica e tolerâncias.

Em seu trabalho, Bruzzone [49] desenvolveu um demonstrador de Montagem Inteligente equipado com um sistema de assistência e monitoramento por câmeras. Este sistema de câmeras permite não só a identificação automática de componentes em pallets, mas também detectar o posicionamento e dimensões destes componentes em tempo real. Durante o processo de montagem, este demonstrador atinge uma precisão de posicionamento de componentes com uma diferença menor que 50µm entre posicionamento nominal projetado e posicionamento real executado. Exemplos de montagem de micro-produtos são micro-esferas em sistemas de referência, ilustradas na Figura 14, e também micro-engrenagens em micro cilindros.



Figura 14: Montagem de micro-esferas [49]

2.5 Desafios para viabilização da Montagem Inteligente em CPS

Apesar das diversas oportunidades e benefícios que podem ser obtidos através da implementação de inteligência nos processos de montagem, existem requisitos para se estabelecer os CPAS. Isto implica em alguns desafios que precisam ser superados para de fato viabilizar a aplicação dos processos de Montagem Inteligente na indústria.

Atualmente, um desafio comum no desenvolvimento de CPAS é o gerenciamento de dados e informações em sistemas complexos e heterogêneos [4] [8] [16] [18]. A estratégia de se introduzir inteligência na manufatura para atender à demanda por produção personalizada torna os sistemas e processos mais complexos [8] [17]. No contexto da I4.0, os sistemas de manufatura inteligente passam a ser constituídos por diversos recursos baseados em CPS oriundos de diferentes fabricantes [9] [21], visto que alguns fabricantes utilizam sistemas, arquiteturas, formatos de dados próprios e protocolos de comunicação não padronizados. Isso resulta tanto em uma imensa quantidade de dados heterogêneos gerados pelos CPAS, quanto em uma alta probabilidade de comunicação conflitante entre os CPS que os constituem [7] [28] [20].

O Sistema de Execução da Manufatura (MES - *Manufacturing Execution System*) assim como outros sistemas de aquisição e gestão de dados da produção, coletam, analisam e distribuem informações relacionadas ao chão de fábrica [11]. Porém, de maneira geral, estes sistemas de gerenciamento tradicionais ainda não estão preparados para operarem em sistemas de manufatura complexos e interconectados e precisam ser adaptados de acordo com os requisitos da I4.0 [1].

Outras questões que dificultam o gerenciamento de dados em um CPAS são:

- Variabilidade de produtos e processos [12] [17] [25] [50];
- Falta de padronização de comunicação e de sistemas [9] [12] [21];
- Granularidade de dados [9] [12];
- Perda de informação [51].

A falta de gerenciamento de dados apropriado para sistemas inteligentes associada a falta de padronização na semântica para comunicação entre sistemas heterogêneos, gera uma assincronia de dados entre os mundos físico e cibernético e impede a distribuição de dados em tempo real entre sistemas. Isto pode gerar problemas significativos como esforços demasiados para converter dados em conhecimento, dificultando a integração horizontal e vertical entre as partes envolvidas no processo e dificultando a tomada de decisões [11] [12] [28].

Diante disso, de uma maneira geral, torna-se necessária a padronização da comunicação e o desenvolvimento de novos métodos para gerenciamento de dados em sistemas de manufatura inteligente. Em especial no âmbito dos CPAS, estes são fatores chave para viabilizar os processos de Montagem Inteligente.

Contudo, existem novas abordagens em desenvolvimento que podem contribuir para a solução do problema mencionado, as quais serão descritas a seguir.

2.5.1 Modelo de arquitetura referência para *Industrie 4.0* (RAMI4.0)

Por se tratar de um interesse global, diversos *stakeholders*, associações e organizações alemãs de renome, como a Associação Alemã de Fabricação de Máquinas e Instalações Industriais (VDMA - *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau*), a Associação Central de Engenharia Elétrica e Indústria Eletrônica ZVEI (*Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie*), a Associação de Engenheiros Alemães (VDI - *Verein Deutscher Ingenieure*) e o Instituto Alemão para Padronização (DIN - *Deutsches Institut für Normung*), se uniram em 2013 visando estabelecer uma padronização para interconexão entre os mundos físico e cibernético nos sistemas de manufatura inteligente. Como resultado, foi desenvolvido o chamado Modelo de Arquitetura Referência para *Industrie 4.0* (RAMI4.0 - *Reference Architecture Model for Industrie 4.0*) [12] [19].

O RAMI4.0 fornece uma orientação passo-a-passo que viabiliza a migração de tecnologias existentes para as tecnologias digitais e inteligentes provenientes da I4.0, indicando as normas e padrões que devem ser utilizadas em diferentes domínios de aplicação. Além disso ele leva em consideração o agrupamento de três aspectos da I4.0 em um modelo comum:

- I. Integração vertical: visa a interconexão dos meios de produção entre os diversos níveis corporativos da empresa;
- II. Engenharia ponto-a-ponto: visa o acesso a informações, adquiridas ao longo de todo o fluxo de valor dos processos, a qualquer momento;
- III. Integração horizontal: visa transpor as fronteiras de uma planta, interconectando de forma dinâmica todas as partes direta e indiretamente envolvidas no processo de manufatura, criando assim uma ampla rede de agregação de valor.

O modelo da arquitetura de referência é representado tridimensionalmente, como ilustra a Figura 15.

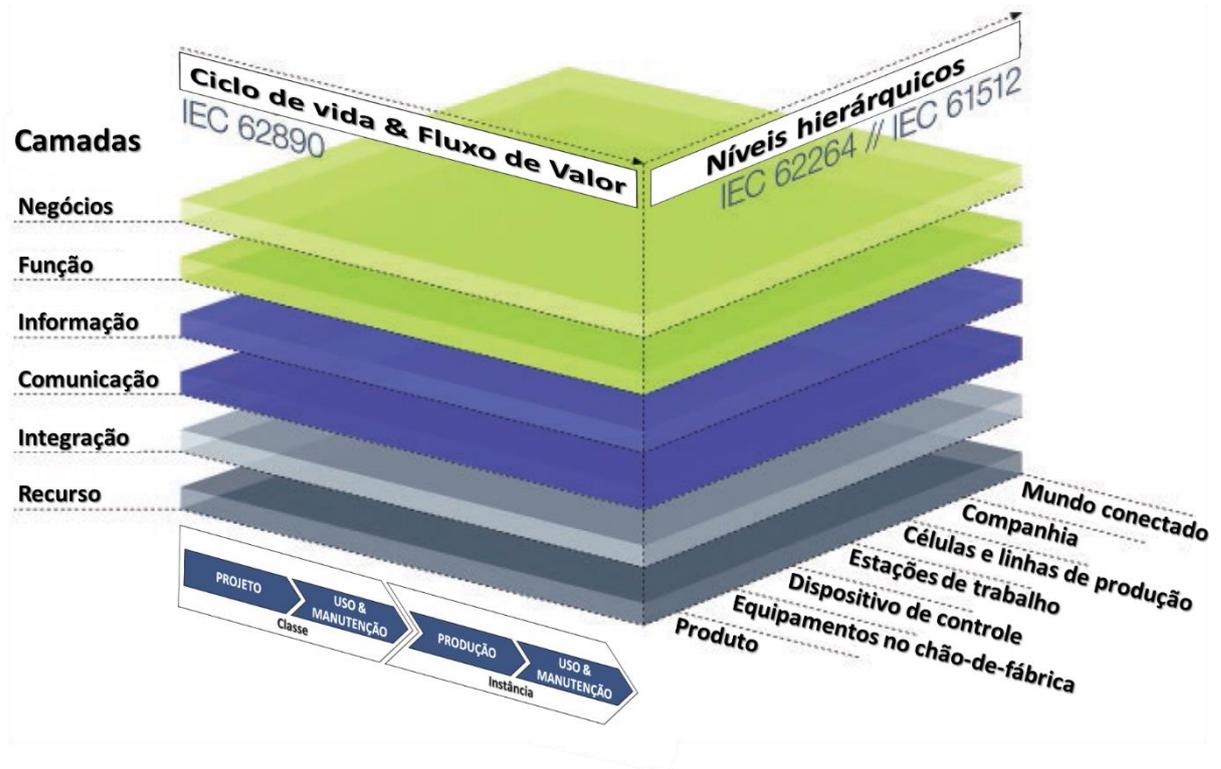


Figura 15: Representação do RAMI4.0 [19]

No eixo vertical, as camadas são utilizadas para representar diversas perspectivas do sistema. O RAMI4.0 leva em consideração não só o ciclo de vida do produto, mas também os fluxos de valor que ele contém. Estes são representados no eixo horizontal (lado esquerdo da Figura 15). Por fim, o eixo horizontal (lado direito da Figura 15) representa uma hierarquia para a alocação de funcionalidades e responsabilidades dentro das fábricas. Devido a este tipo de estrutura, modelos, tarefas e fluxos de trabalho podem ser fragmentados em partes menores, a fim de simplificar o gerenciamento dos mesmos. Outro benefício da estrutura do RAMI4.0 é a análise de normas existentes. Por meio dessa análise é possível identificar se existem diferentes normas que tratam do mesmo tema e determinar qual delas é a mais adequada, evitando duplicidades. Além disso, é possível identificar se uma norma precisa de complementos ou alterações, ou até mesmo identificar áreas em que normas são necessárias. O objetivo é abranger todos os aspectos necessários da I4.0 utilizando o mínimo de normas possíveis, evitando assim a questão da heterogeneidade de regulamentações.

Dentro da perspectiva do RAMI4.0, foram identificadas duas abordagens com potencial para auxiliar no desenvolvimento de sistemas de gestão de dados apropriados para ambientes inteligentes e que podem contribuir para a viabilização e

estabelecimento da Montagem Inteligente. São eles o Gerenciamento de Operações de Manufatura e o Invólucro Administrativo, que serão descritos a seguir.

2.5.2 Gerenciamento de operações de manufatura (MOM)

Atualmente, um sistema amplamente utilizado na gestão dos processos de manufatura é o MES, este se trata de um sistema de controle central superordenado, que sincroniza as interações entre os processos executados em uma planta. Suas competências de coleta de dados favorecem tanto a execução de um planejamento detalhado quanto o controle dos processos de manufatura [16].

Porém, devido aos novos paradigmas e novas exigências oriundos da I4.0, o MES passa a necessitar de um intenso desenvolvimento para que esteja apto a operar em ambientes inteligentes, digitalizados e interconectados. Isto requer o suporte de sistemas de Gerenciamento de Operações de Manufatura (MOM - *Manufacturing Operations Management*). Segundo a associação ZVEI [1], o objetivo dos MOM no contexto da manufatura inteligente é obter:

- Monitoramento do fluxo de valor ao longo de todo o ciclo de vida do produto;
- Disponibilidade de todas as informações relevantes em tempo real;
- Fluxos de valor otimizados.

Um ponto de partida para se estabelecer o MOM é utilizar como base as competências relevantes do MES, expandido suas fronteiras para além dos horizontes do chão de fábrica, integrando pessoas, recursos e sistemas de manufatura, bem como todas as partes envolvidas dos processos (ex.: fornecedores e clientes). Dessa forma, será possível transcender as redes de valor de uma organização e adequar os sistemas de gerenciamento ao contexto da I4.0 [1] [13].

Para se obter maiores benefícios do MOM, recomenda-se que ele seja associado ao *Big Data* [1]. Alguns destes benefícios são abordados na Tabela 1.

A padronização necessária e a definição de submodelos para os componentes MOM ainda está em estágio de desenvolvimento [1]. Contudo, existe uma abordagem, recomendada pelo RAMI4.0, que quando associada ao MOM, tem potencial para viabilizar o gerenciamento de dados relacionados aos processos de manufatura inteligente dentro do contexto I4.0, chamada de Invólucro Administrativo, que será apresentada no tópico a seguir.

Tabela 1: Benefícios do MOM associado com tecnologias de Big Data [1]

Benefícios corporativos	Descrição
Decisões & Avaliação de risco	Com o <i>Big Data</i> , as bases de tomada de decisão podem ser melhoradas e a análise de riscos pode ser facilitada
Otimização do processo	Análises mais detalhadas de dados internos e externos podem contribuir para otimização dos processos de negócio e redução de custos
Rentabilidade	Com o <i>Big Data</i> , o planejamento de vendas garante competências de fornecimento, evitando perdas de faturamento e aumentando a rentabilidade
Fixação de preços	Análises baseadas em <i>Big Data</i> viabilizam a possibilidade de adaptar preços a situação atual do mercado em tempo real
Foco no consumidor & Potencial exploratório	Análises baseadas em <i>Big Data</i> facilitam o alinhamento das propostas da empresa com as necessidades específicas dos clientes (ou grupos de clientes) e a detecção de gaps no mercado

2.5.3 Invólucro Administrativo

O Invólucro Administrativo é um elemento de integração, que tem como objetivo “envolver” um recurso para interconectá-lo a um sistema de manufatura inteligente, de maneira que este recurso possa se interagir com os recursos por meio da troca de dados e informação. Com esta capacidade de interconexão, o Invólucro Administrativo possibilita que os recursos de manufatura sejam gerenciados por sistemas de gerenciamento de ambientes inteligentes, como o MOM [19].

É importante mencionar que, assim como o MOM, o Invólucro Administrativo também é uma abordagem recomendada pelo RAMI4.0 [19] e dessa forma, atende às exigências padronizadas para ambientes inteligentes.

Para integrar os recursos de manufatura ao MOM, os Invólucros Administrativos devem ser abastecidos com informações referentes aos recursos que irão envolver. Além disso, é necessário que todo recurso a ser envolvido por um Invólucro Administrativo tenha competência de comunicação, podendo esta ser comunicação ativa ou passiva [19]:

- **Recursos de comunicação ativa:** são recursos com capacidade de comunicação própria e que podem armazenar seu próprio Invólucro Administrativo em si, como ilustrado na Figura 16. Um bom exemplo de recursos de comunicação ativa são aqueles baseados em CPS.

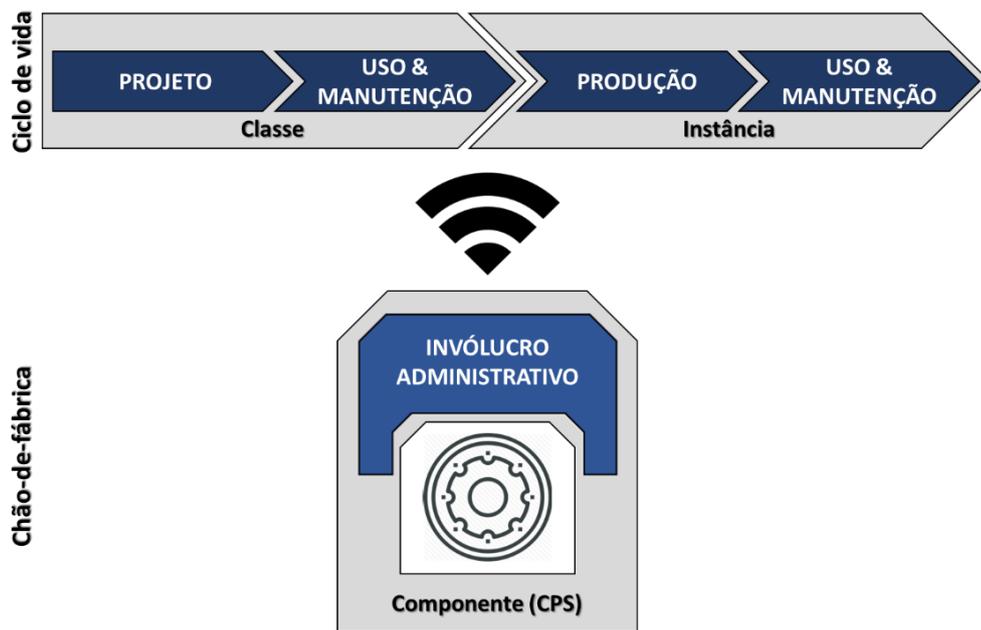


Figura 16: Recurso de comunicação ativa, adaptado de VDI/VDE [19]

- **Recursos de comunicação passiva:** são recursos que não possuem competência de comunicação própria e dependem do intermédio de um sistema de Tecnologia de Informação (TI) para se interconectarem a um sistema de manufatura e também para serem envolvidos pelos seus Invólucros Administrativos (armazenados neste sistema de TI), como ilustrado na Figura 17. Exemplos de recursos de comunicação passiva, são objetos etiquetados com códigos bidimensionais e/ou com RFID.

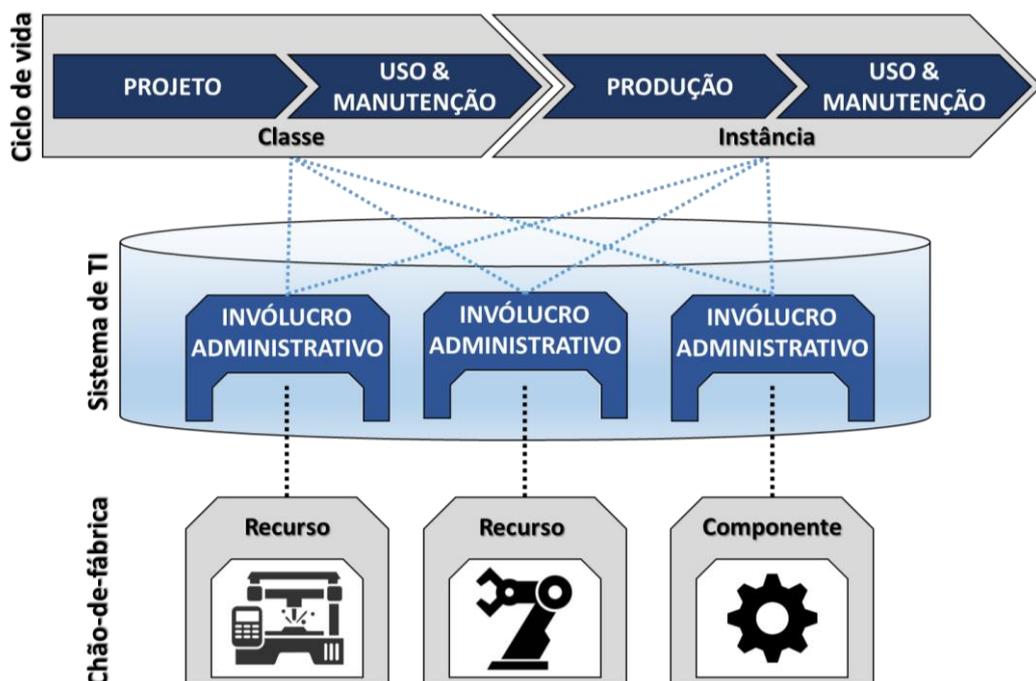


Figura 17: Recursos de comunicação passiva, adaptado de VDI/VDE [19]

O Invólucro Administrativo pode contribuir com o MOM não só por meio da coleta de dados e informações, mas também por meio do monitoramento dos recursos de manufatura ao longo de todo o seu ciclo de vida. No contexto do RAMI4.0, o ciclo de vida de qualquer recurso de manufatura é dividido entre classe e instância [19]:

- **Classe:** uma classe engloba um conjunto de objetos similares e suas respectivas características; e é criada a partir de um esboço que define a estrutura e o comportamento de um objeto durante seu ciclo de vida [52]. No RAMI4.0, uma classe engloba a fase de desenvolvimento do produto, fase de testes e prototipagem, até que seja validada e liberada para produção [19].
- **Instância:** conceitualmente, instância é uma ocorrência específica de uma classe. Quando um dos objetos de uma classe é instanciado, este passa a ser um objeto físico que retém atributos exclusivos de sua classe [52].

No RAMI4.0, uma instância engloba a fase de fabricação do produto e também a fase de uso. Quando um produto (instância) é fabricado, ele passa a ter um número de série único, afim de que possa ser rastreado e monitorado [19] [52].

O Invólucro Administrativo dos recursos de manufatura possui uma estrutura que é constituída basicamente por cabeçalho e corpo, como ilustra a Figura 18. O cabeçalho contém detalhes de identificação do(s) recurso(s). Já o corpo é formado por submodelos, que contém a informação sobre as condições atuais dos recursos e tem um papel de intermediador para a troca de dados [34] [53].

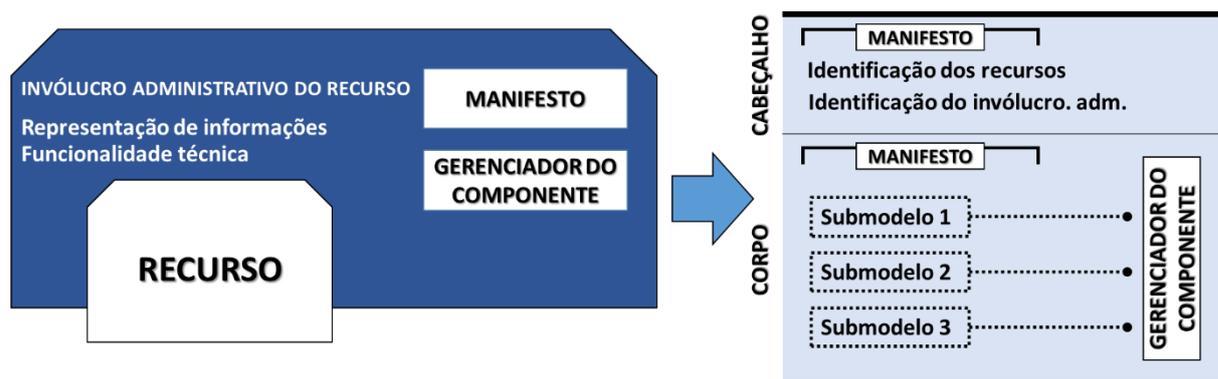


Figura 18: Estrutura do Invólucro Administrativo, adaptado de ZVEI [53]

O Invólucro Administrativo em si é composto por um “manifesto” e um “gerenciador do componente”. O “manifesto” consiste em um diretório com dados individuais, baseados em meta-dados, para descrição virtual do recurso. A descrição virtual reflete todo o conteúdo digital do recurso, como por exemplo: modelo geométrico, estrutura

de um produto com vínculos entre os componentes, catálogos, imagens, elementos técnicos, planilhas de dados, elementos de segurança e em até mesmo modelos de simulação. Em síntese, o manifesto contém [54]:

- Dados essenciais sobre o recurso: informações sobre identificação, informações sobre vínculos com outros elementos, descrição de funções, informações relevantes para o processo de produção e fluxos de trabalho, entre outros;
- Semântica clara para troca de informações entre CPS e vínculos com outros recursos;
- Competências de segurança.

O “gerenciador do componente” tem a função de um *link* para a comunicação do recurso CPS, e permite a troca de dados e acesso externo (se autorizado) a informações armazenadas no invólucro administrativo, como representação virtual e funcionalidade técnica. Isto possibilita a prestação de serviços por meio de TICs [34].

Também é importante destacar que o Invólucro Administrativo pode abranger vários objetos, tornando-o apropriado para aplicação em operações de montagem como por exemplo um produto e seus respectivos componentes, como ilustra a Figura 19 [19].



Figura 19: Invólucro Administrativo de um produto e seus componentes [19]

Em se tratando de Invólucros Administrativos que envolvem diversos objetos, é recomendável que haja um componente primário e que este permita o aninhamento dos outros componentes. No caso de um produto, como na Figura 19, isto permitirá que o Invólucro Administrativo envolva todos os componentes do produto fazendo com que eles ajam com uma unidade e abstraindo as informações de cada componente de forma sumarizada [19].

2.6 Gerenciamento de dados em processos industriais

No intuito de se desenvolver um sistema de gestão de dados apto para operar em ambientes inteligentes, é necessário compreender como uma companhia gerencia os dados relacionados aos processos que ela executa e também como os sistemas de gestão de dados, em geral, são estruturados. Além disso, é importante se conscientizar das exigências para a manufatura inteligentes.

Nessa perspectiva, serão abordados a seguir a estrutura de um sistema de gerenciamento de dados tradicional, estrutura de dados relacionados a montagem em um CPAS, e também alguns pré-requisitos para a viabilização da Montagem Inteligente.

2.6.1 Sistema de gerenciamento de dados em processos industriais

Conforme já mencionado, para se desenvolver um sistema MOM em ambientes inteligentes, deve-se utilizar como base funções fundamentais dos sistemas de gestão tradicionais baseados em MES, bem como suas funções e sua estrutura.

O MES é responsável por gerenciar as informações necessárias no chão de fábrica durante a produção e montagem de produtos. O sistema recebe *input* de listas - como por exemplo lista de materiais (BoM - *Bill of Materials*) -, do gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLM - *Product Lifecycle Management*) e pedidos e agendamento dos sistemas de ERP [55]. Afim de se compreender melhor os elementos deste sistema de gerenciamento, as abordagens de MES, ERP, PLM e listas serão descritos individualmente nos sub-tópicos a seguir:

2.6.1.1 Sistema de Execução da Manufatura (MES)

O MES é um sistema de monitoramento aplicado no controle do chão-de-fábrica e cuja coleta de dados pode ser automática ou manual. De acordo com as informações

fornecidas ao sistema, um gestor pode tomar medidas corretivas para reduzir e/ou eliminar problemas nas células de produção e assim, aumentar o valor agregado das operações [56].

Segundo Kite [57], o MES foi desenvolvido para atender algumas questões como:

- Saber se o que foi planejado está sendo executado e caso não esteja o porquê;
- Conseguir localizar problemas;
- Identificar quais são as paradas que mais ocorrem;
- Entre outros.

O trabalho de uma solução MES começa na fabricação de um produto, tendo início com a execução de uma OP (Ordem de Produção) e se encerra com o produto acabado. Para maior eficiência do MES o sistema deve ser alimentado com dados do chão-de-fábrica em tempo real, para que ele possa atuar no processo e enviar alertas caso haja ocorrência de falhas, reduzindo assim o risco de paradas prolongadas e perda de produtividade [57].

Para integrar o sistema de gestão ao chão-de-fábrica o MES utiliza conjuntos de CLP instalados na produção para coleta de dados em máquinas; e também um conjunto de IHM (Interface Homem Máquina), para coleta de dados inseridos por operadores humanos [57]. Além disso, o MES precisa estar associado a um sistema ERP, de maneira que estes troquem informações constantemente e trabalhem paralelamente [56] [57].

Em linhas gerais, pode-se dizer que uma solução MES deve fornecer informações sobre tudo que acontece nas linhas de produção de um chão de fábrica, como por exemplo controle da produção, tempo de produção, atrasos, produtos acabados, refugos, condições das máquinas, operadores, controle de qualidade, manutenção, entre outros [57].

A Figura 20 apresenta um diagrama estabelecido pela Associação de Fabricantes e Usuários de Soluções MES (MESA - *Manufacturing Execution System Association*). Este diagrama ilustra quais operações de negócio de uma companhia estão relacionadas à uma solução MES [57].

Os elementos presentes no nível de operações de manufatura, no diagrama da Figura 20, devem fazer parte de uma solução MES. São eles: Rastreabilidade do produto e

genealogia, alocação de recursos, análise de desempenho, gestão do processo, aquisição e coleta de dados, gerenciamento da qualidade, gestão de operadores, liberação de produtos, logística e controle [57].

Um outro fator importante em sistemas de gestão é a base de dados, porém, muitas vezes isto é negligenciado. Para que se tenha uma base de dados adequada, ela deve ser abastecida com informações corretas e isto está diretamente ligado a coleta de dados. Devido ao grande número de atividades paralelas que ocorrem em uma fábrica, muitos dados relevantes são gerados a cada instante, por isso recomenda-se realizar coleta de dados automática sem interferência de pessoas [57].

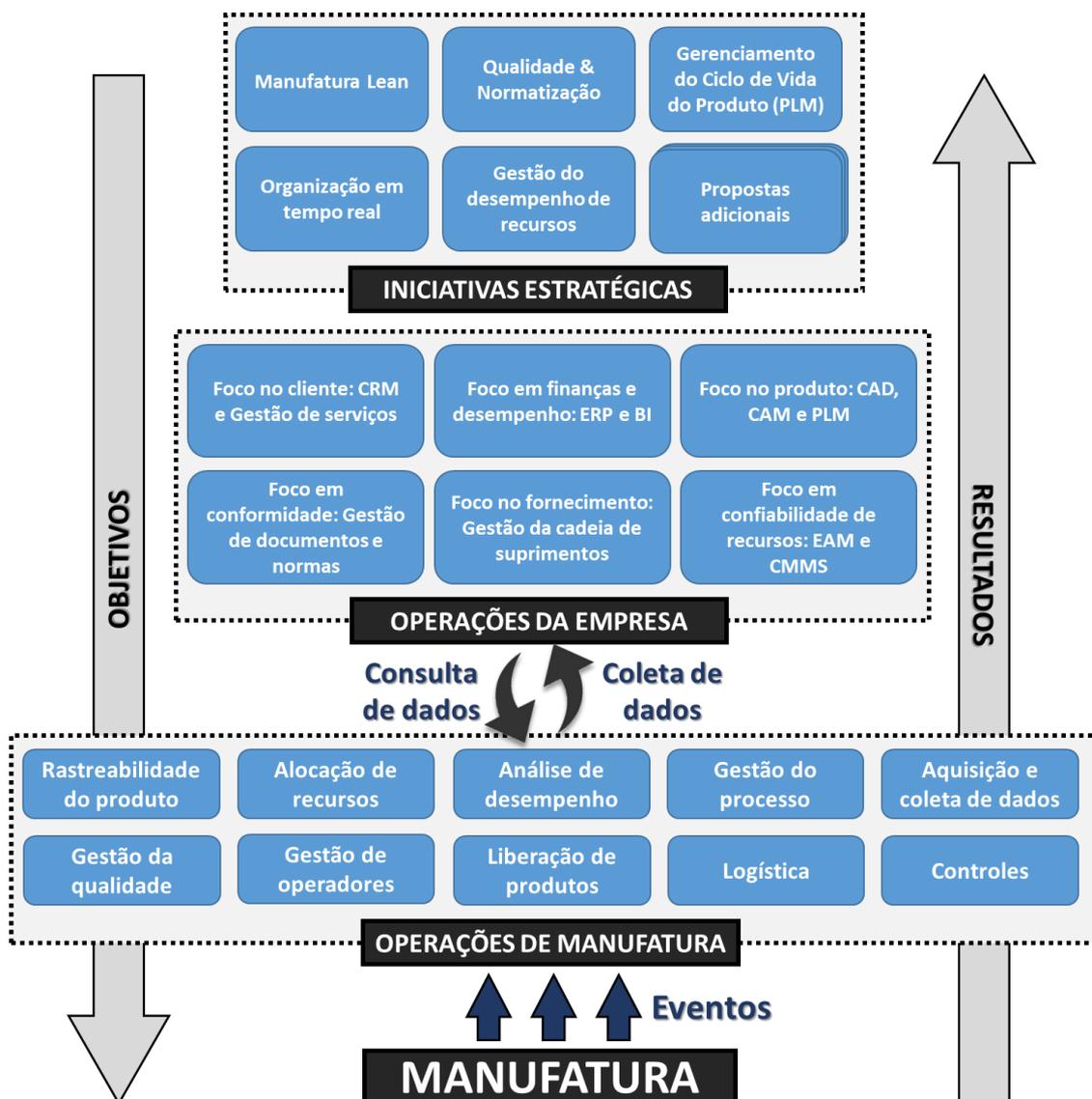


Figura 20: Operações associadas ao MES¹⁵, adaptado de Kite [57]

¹⁵ O significado das siglas presentes na figura se encontram na lista de abreviaturas presente nesta dissertação.

Segundo Meyer [58], o MES deve estar apto a controlar todos os processos dentro de uma planta, abrangendo não só diferentes elementos dos sistemas de produção, mas também do planejamento. Isto requer o mapeamento e controle de diversos dados e informações, como:

- Descrição técnica completa do produto;
- Gerenciamento de recursos do produto e agendamento de tarefas;
- Planejamento do conjunto de pedidos e estabelecimento de uma sequência de tarefas;
- Armazenamento de dados de operações executadas e monitoramento do desempenho dos processos;
- Documentação apropriada para rastreabilidade de dados da produção;
- Gerenciamento de informação.

Benefícios iniciais da utilização de um sistema MES estão na facilidade de obtenção de dados do chão-de-fábrica e tomadas de decisão mais rápidas, o que consequentemente reduz perdas. Contudo, existe o desafio de se analisar os dados e perceber se algum recurso de produção está fornecendo dados coerentes [59]. Outros benefícios que podem ser obtidos com a gestão de uma solução MES são: redução de paradas e tempo de ociosidade, aumento na qualidade final dos produtos, aumento na produtividade total da indústria, balanço entre produtividade, paradas e custo das máquinas; e obtenção de informação certa na hora certa [57].

2.6.1.2 Planejamento de Recursos da Empresa (ERP)

Um sistema ERP abrange planejamento, execução e controle dos procedimentos de uma empresa sob uma perspectiva econômica e financeira. Ele é responsável por integrar dados de entrada e compartilhá-los entre seus módulos [60]. Apesar do acrônimo ERP (*Enterprise Resource Planning*) significar “planejamento dos recursos da produção”, ele não faz jus a sua real função. A função do ERP é integrar todos os departamentos e funções de uma companhia em um único sistema de computador, para que este possa atender todas as necessidades destes departamentos [61]. Dessa forma, Vanderlei et al. [56] sugerem o termo “Sistema Integrado de Gestão da Empresa” para o acrônimo ERP.

Segundo Chopra e Meindl [62], ERP é um sistema integrado, que possibilita um fluxo de informações único, contínuo e consistente por toda a empresa, sob uma única base de dados. Este é um instrumento para a melhoria de processos de negócios, como a produção, compras ou distribuição, com informações em tempo real. O sistema permite visualizar por completo as transações efetuadas pela empresa, de forma a representar um amplo cenário de seus negócios.

Em relação a arquitetura e funcionalidades, o ERP possui uma arquitetura de software. Através de um banco de dados único, as informações relacionadas ao ERP operam em uma plataforma comum com um conjunto integrado de aplicações, consolidando todas as operações do negócio em um ambiente computacional [63].

A utilização de sistemas ERP otimiza o fluxo de informações e facilita o acesso aos dados operacionais, favorecendo a adoção de estruturas organizacionais mais enxutas e flexíveis. Além disso, as informações tornam-se mais consistentes, possibilitando tomadas de decisão com base em dados que refletem a realidade da empresa. Um outro benefício da sua implantação é a adoção de melhores práticas de negócios com base nas funcionalidades do ERP, que resultam em ganhos de produtividade e em maior velocidade de resposta da organização [63].

O compartilhamento de informações é a chave para o sucesso administrativo do ERP, uma vez que redundância de inserção de dados pode ser eliminada sem diminuir o controle administrativo e financeiro. Além disso, o ERP proporciona a atualização dos dados no sistema em tempo real, favorecendo a geração de uma base de conhecimento da empresa com qualidade [60].

Na Figura 21, estão representados os módulos (funcionalidades) dos sistemas ERP, separados em funções internas (*back-office*), que são compostas por recursos humanos, manufatura e finanças; em funções externas (*front-office*), compostas por vendas e serviços; e também em tecnologia e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (SCM - *Supply Chain Management*). Os dados referentes a cada um dos módulos, são armazenados em uma base de dados central, para que possam ser compartilhados entre si. Além dos módulos representados no modelo, alguns sistemas ERP podem apresentar módulos adicionais, como gerenciamento da qualidade, gerenciamento de projetos, gerenciamento de manutenção, entre outros [64].

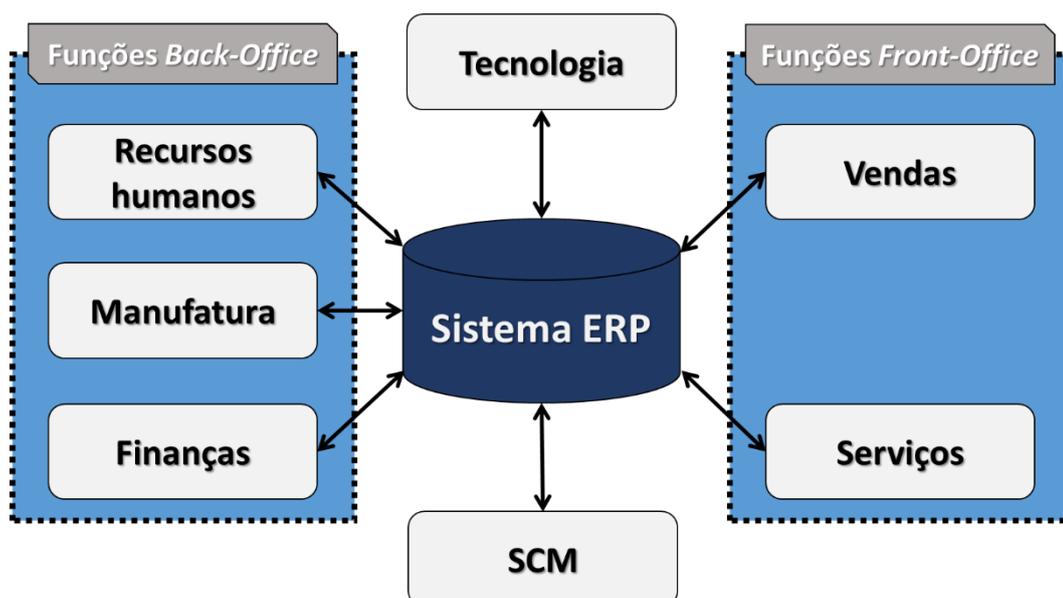


Figura 21: Funcionalidades dos sistemas ERP, adaptado de Davenport [64]

2.6.1.3 Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM)

O Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM - *Product Lifecycle Management*), consiste em um conjunto de processos para gerir o ciclo de vida completo de um produto. Este ciclo consiste nas seguintes fases: concepção, projeto (*design*), fabricação, uso e reciclagem. Para efetuar a gestão, o PLM integra pessoas, dados, processos e sistemas de negócios; e permite a troca de dados e informações entre uma companhia, sua rede de fornecedores, distribuidores e clientes [65]. PLM também pode ser definido como uma abordagem estratégica de negócio que aplica um conjunto consistente de soluções para apoiar a criação, gestão, disseminação e uso das informações do produto. Isto, de forma colaborativa ao longo de toda a cadeia de valor de uma empresa [66].

Em relação a sua arquitetura, o PLM se trata de um software, que deve possuir diversas competências para gerir e inovar efetivamente os seus produtos e os serviços a eles relacionados. Uma solução PLM não é uma solução generalizada, devendo ela ser única e adaptada as necessidades de cada companhia, envolvendo todos os elementos relevantes relacionados ao processo, com um nível de segurança severo e com funcionalidades adequadas de forma a assegurar a diminuição do tempo de lançamento de novos produtos e diminuição do custo associado à reutilização de dados e conhecimento adquirido [65].

Segundo a PTC [67], existem sete recursos obrigatórios para que uma solução PLM, de fato, traga resultados. A Tabela 2 apresenta, além destes sete recursos essenciais

(obrigatórios), oito recursos avançados (optativos) que estão presentes em solução PLM.

Os principais benefícios do PLM incluem: redução do *time-to-market*, melhoria da qualidade dos produtos, redução dos custos de prototipagem dos produtos, aumento da precisão e redução do tempo nas cotações dos produtos, melhoria na identificação de oportunidades de vendas e aumento de receita, economia através da reutilização de materiais, criação de modelos para otimizar o desenvolvimento de um produto, redução do desperdício, economia através da integração do fluxo de processos da engenharia e manufatura, gestão da documentação de certificação dos produtos, fornecimento de acesso controlado e seguro às informações sobre produtos em desenvolvimento, entre outros [65].

Tabela 2: Recursos obrigatórios e avançados de uma solução PLM, adaptado de PTC [67]

RECURSOS DE UMA SOLUÇÃO PLM	Essencial	Avançado
Gerenciamento de documentos	✓	
Visualização integrada	✓	
Fluxo de trabalho	✓	
Colaboração distribuída	✓	
Gerenciamento de dados CAD	✓	
Gerenciamento de listas (ex.: Lista de Materiais - BoM)	✓	
Gerenciamento de mudanças e configurações	✓	
Gerenciamento de processos de manufatura (MPM)		✓
Gerenciamento de requisitos		✓
Gerenciamento de portfólio de programas (PPM)		✓
Gerenciamento do ciclo de vida de qualidade (QLM)		✓
Análise do produto		✓
Gerenciamento de componentes e fornecedores (CSM)		✓
Informação sobre serviços		✓
Comunidades de prática		✓

2.6.1.4 Listas

Uma das listas mais nos sistemas de gestão de manufatura é Lista de Materiais (BoM - *Bill of Materials*), também conhecida como estrutura do produto. A BoM é uma lista com todas as sub-montagens, componentes intermediários, matérias-primas e itens comprados que são utilizados na fabricação e/ou montagem de um produto, indicando as relações de precedência e quantidade de cada item necessário. Além desses objetos, a BoM também pode conter instruções de trabalho ou ferramentas requeridas para suportar o processo de manufatura [68] [69] [70].

Devido à grande diversidade de objetos que a BoM pode conter, é necessário definir uma nomenclatura padrão para que o uso de cada um deles seja diferenciado e compreendido. Objetos de uma BoM podem ser classificados em [68] [70]:

- Item: qualquer matéria prima, peça, embalagem, componente, sub-montagem, montagem ou produto único manufaturado ou comprado;
- Componente: matéria prima, peça ou sub-montagem que é utilizada numa montagem de nível mais alto, ou em outro item. Esse termo pode incluir também embalagens no caso de itens finais;
- Peça: geralmente um item isolado comprado ou fabricado que é usado como componente e não é uma montagem ou sub-montagem, nem matéria prima;
- Material: produtos finais. Montagem, sub-montagens, peças, matéria prima, informações, recursos ou serviços usados durante o processo produtivo.

Na Figura 22 abaixo, é apresentado um esquema com as relações de precedência entre os objetos de uma BoM.

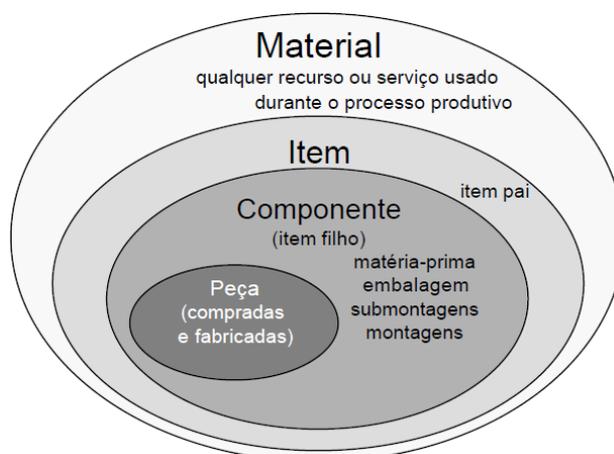


Figura 22: Objetos da estrutura de produto [70]

A BoM é baseada na relação pai/filho entre itens. Na qual, o item que está sendo produzido é chamado de item pai e os itens requeridos na sua produção são chamados itens filhos ou componentes [70].

Para a idealização de produtos em sistemas de manufatura tradicionais, primeiramente é utilizado um esboço técnico, seguido pela criação de uma BoM. Contudo, normalmente uma BoM não contém informações que mostram quais operações necessárias para a manufatura de um produto, nem como executá-las. Partindo desse pressuposto, com a convergência entre sistemas de TI e de

manufatura, foi idealizado o conceito de Lista de Processo (BoP - *Bill of Process*), um modelo de melhores práticas que vem se tornando relevante em meio ao MOM e ao PLM.

Uma BoP contém planos detalhados que descrevem os processos de manufatura para um produto em particular. Nestes planos estão incluídas informações sobre maquinários, recursos da planta, layout de equipamentos, configurações, ferramentas e instruções. Devido aos avanços tecnológicos da manufatura, cada vez mais os fabricantes estão unindo as competências de TI com a BoP, permitindo a comunicação e colaboração em processos de manufatura a nível global [71].

2.6.2 Estruturação de dados em CPAS e viabilizadores da Montagem Inteligente

Em se tratando de gestão em Montagem Inteligente, é importante se ter conhecimento de quais dados são relevantes para o processo e como e eles devem ser estruturados. Isto é ilustrado no diagrama da Figura 23, desenvolvido por Müller et al. [12].

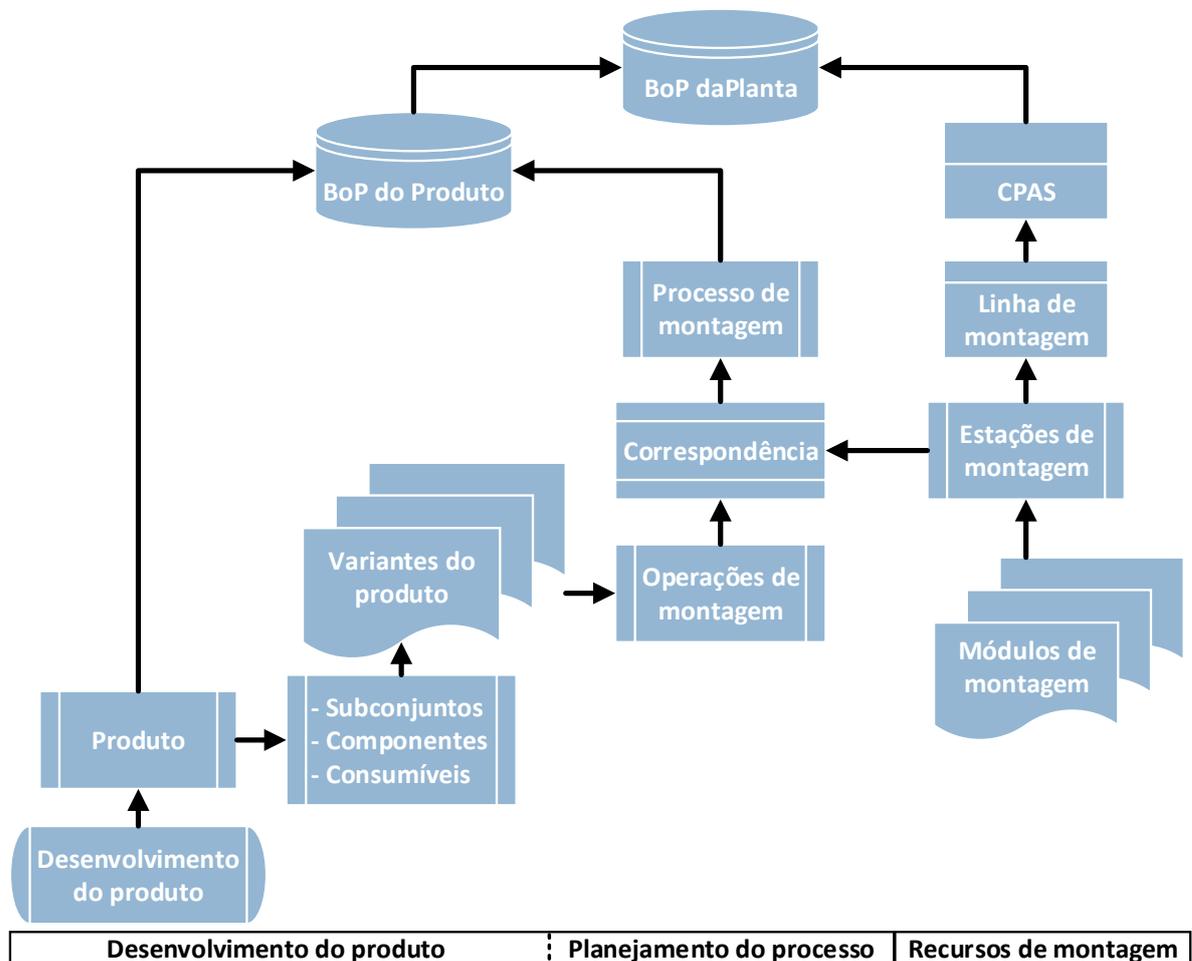


Figura 23: Estrutura de dados na Montagem Inteligente, adaptado de Müller et al [12]

A base desse modelo é constituída por desenvolvimento do produto e planejamento do processo - que trabalham de forma integrada - e recursos de montagem. A engenharia de desenvolvimento do produto é responsável por desenvolver um produto levando em consideração todos os possíveis componentes, consumíveis (objetos geometricamente indeterminados, como aderentes líquidos ou materiais de enchimento gasosos) e subconjuntos que o constituem [12].

Paralelamente ao desenvolvimento do produto, a engenharia de planejamento do processo analisa todas as possíveis variantes do produto para estabelecer as operações de montagem necessárias, com quais parâmetros e em quais recursos estas devem ser executadas. Baseado nestas informações, é realizada uma etapa de correspondência para verificar se estações de montagem e seus respectivos módulos estão aptas executar as operações de montagem planejadas. Como resultado dessa correspondência, são gerados os processos de montagem, considerando as possíveis variantes do produto [12].

Todas as características referentes a variante do produto e seu respectivo processo de montagem são reunidas em forma de dados em uma Lista de Processo (BoP - *Bill of Process*) do Produto [12].

É necessário compreender que os recursos de montagem são sistemas hierárquicos, composto por linhas que são formadas por diferentes estações de montagem [16]. As estações de montagem por sua vez são estruturas modulares, que podem ter diferentes módulos anexados ou desanexados a elas (segundo o processo de montagem do produto), como por exemplo [12]:

- Módulo I/O: para *input* e *output* de sinais e informações;
- Módulo transportador: para mover os componentes (ou subconjuntos) entre as estações de montagem;
- Módulo de alimentação: para armazenamento e fornecimento de peças em uma operação de montagem específica.

Por fim, quando uma BoP do Produto é associada a um determinado CPAS é originada uma BoP da Planta. Esta BoP da Planta contém as informações necessárias para fazer a associação das operações de montagem requisitadas pelos componentes com os respectivos recursos do CPAS, de forma a executar o processo da montagem do produto conforme o planejado [12].

Além de compreender a estrutura de dados em CPAS, é importante se conscientizar sobre os pré-requisitos que os CPAS devem atender. A Tabela 3, contém os pré-requisitos, encontrados na literatura, que viabilizam a abordagem de Montagem Inteligente em CPS.

Tabela 3: Pré-requisitos para viabilizar a Montagem Inteligente

Exigências	Referências
Flexibilidade	[8] [18] [42]
Modularidade	[16] [31] [9]
Robustez	[7] [9] [28]
Monitoramento e rastreabilidade contínua em tempo real	[11] [20] [43]
Ferramentas e métodos para planejamento e gerenciamento de sistemas complexos	[4] [12] [50]
Segurança	[8] [9] [28]
Aquisição e fornecimento de dados em tempo real	[2] [13] [28]
Integração e colaboração de sistemas heterogêneos	[7] [18] [32]
Semântica para troca de dados	[4] [7] [72]
Ferramentas para processamento de dados e informação	[7] [28] [32]
Identificação única de produtos respectivos componentes	[19] [30] [31]

2.7 Linguagem de modelagem unificada (UML)

No contexto da I4.0, a elaboração de modelos torna-se necessária para auxiliar na análise e desenvolvimento de novos sistemas. Uma ferramenta em potencial para tal e que além disso já é a linguagem mais utilizada para modelagem de sistemas é a UML [73].

A Linguagem de Modelagem Unificada (UML - *Unified Modeling Language*) é uma linguagem de modelagem¹⁶ de propósito geral baseada no paradigma de orientação a objetos. Este tipo de linguagem de modelagem tem como objetivo auxiliar no desenvolvimento de modelos, de forma a definir características do sistema, comportamento, estrutura lógica, dinâmica de processos e até mesmo necessidades físicas em relação ao sistema que será implementado [74].

Segundo Guedes [74], por mais simples que seja, todo e qualquer sistema deve ser modelado antes de iniciar sua implementação, dado que sistemas de informação tendem a aumentar em termos de complexidade e abrangência.

Existem diversos tipos de diagramas UML: diagrama de casos de uso, diagrama de classes, diagrama de objetos, diagrama de pacotes, diagrama de sequência, entre outros [73]. Para o desenvolvimento do modelo proposto nesta dissertação, será utilizado o diagrama de classes, dado que ele é o mais adequado para representar como as diferentes classes dentro de um sistema se relacionam e trocam informações entre si. Portanto, neste capítulo, apenas o diagrama UML de classes será abordado.

A UML está no escopo da orientação a objetos, deste modo, antes da abordagem sobre diagrama de classes, é importante compreender alguns conceitos de orientação a objetos, como classe, atributo e método:

- **Classe:** é um conjunto com características (atributos) similares e que a partir deste conjunto pode instanciar objetos com características únicas [52]. Na UML uma classe pode ser simplesmente representada por um retângulo, como ilustra a Figura 24. Porém uma classe pode ter até três divisões, como ilustra a Figura 26. A primeira divisão armazena o nome pelo qual a classe é identificada, a segunda enuncia os possíveis atributos pertencentes a classe e a terceira os possíveis métodos que a classe contém [74].

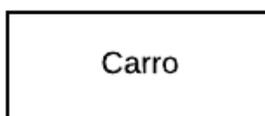


Figura 24: Exemplo de uma classe

A classe ilustrada pela Figura 24, apresenta apenas uma divisão que contém seu nome. Não é obrigatório representar uma classe totalmente expandida, dado que

¹⁶ Linguagem de modelagem não é o mesmo que linguagem de programação.

a classe pode simplesmente não conter atributos e/ou métodos, podendo esta ser caracterizada como uma classe abstrata [74];

- **Atributo:** classes contém atributos, também conhecidos como propriedades. Os atributos representam as características de uma classe que costuma variar de um objeto para outro. É importante entender que, apesar de representarem as características de uma classe, não é exatamente a classe que contém atributos, mas sim os objetos instanciados por ela, que contêm as características (atributos) desta classe [74].

Os atributos são representados na segunda divisão da classe e além de conter o nome que identifica o atributo, pode conter também o tipo de dados¹⁷ que o atributo armazena [74]. Um exemplo de classe com atributos é ilustrado pela Figura 25;



Figura 25: Exemplo de classe com atributos

- **Método:** classes também podem ter métodos (operações ou comportamentos), que representam uma atividade que um objeto de uma classe pode executar [74]. Os métodos são armazenados na terceira divisão de uma classe, como ilustra a Figura 26.



Figura 26: Exemplo de classe com atributos e métodos

Compreendidos os conceitos abordados acima, será feita a seguir uma breve abordagem sobre diagrama de classes.

Segundo Guedes [74], o diagrama de classes é um dos mais utilizados na UML e tem o objetivo de tornar possível a visualização das classes que irão compor os sistemas

¹⁷ Exemplos de tipos de dados armazenados pelo atributo são: *integer*, *float*, *character*, entre outros.

e seus respectivos atributos e métodos. Além disso o diagrama de classes também permite demonstrar como as classes de um diagrama se interagem e transmitem informações entre si. Devido a tais características, o diagrama de classes pode ser utilizado na elaboração de modelos conceituais, indicando quais informações, classes e respectivos atributos, bem como as associações entre as classes serão necessárias para tal.

De uma forma geral, um diagrama de classes é composto por suas classes e pelas associações (ou relacionamento) existentes entre elas. Isto permite que as classes compartilhem informações entre si e colaborem para a execução dos processos executados pelo sistema. Uma associação descreve um vínculo que ocorre normalmente entre os objetos de uma ou mais classes [74].

Uma associação é representada por linhas que ligam as classes envolvidas. Estas linhas podem assumir diversas formas, dependendo do tipo de associação que será estabelecida entre as classes no sistema. Alguns dos tipos destas associações mais utilizados serão apresentados abaixo:

- **Associação unária (ou reflexiva):** este tipo de associação ocorre quando existe um relacionamento entre objetos de uma mesma classe [74], cuja representação é ilustrada pela Figura 27;

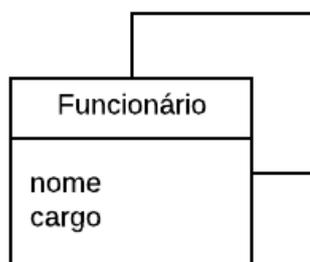


Figura 27: Exemplo de associação unária

- **Associação binária:** associações binárias ocorrem quando são identificados relacionamentos entre objetos de duas classes distintas [74]. Sua representação é ilustrada pela Figura 28;

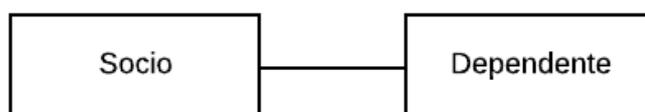


Figura 28: Exemplo de associação binária

- **Associação ternária (ou N-ária):** conectam objetos de mais de duas classes. São representadas por um losango para onde convergem todas as ligações da associação [74]. Este tipo de associação é útil para demonstrar associações complexas e sua representação é ilustrada pela Figura 29;

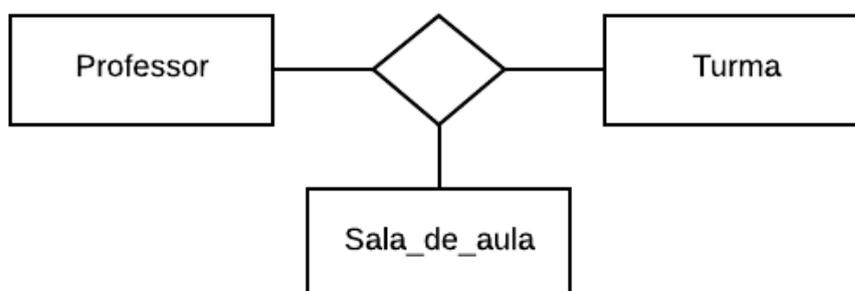


Figura 29: Exemplo de associação ternária

- **Agregação:** é um tipo especial de associação em que se busca demonstrar que as informações de um objeto (todo) precisam ser complementadas pelas informações contidas em um ou mais objetos de outra classe (parte) e também demonstrar a relação todo-parte entre os objetos associados. O símbolo de agregação é representado por um losango vazio na extremidade da classe que contém os objetos-todo [74], como representado na Figura 30.

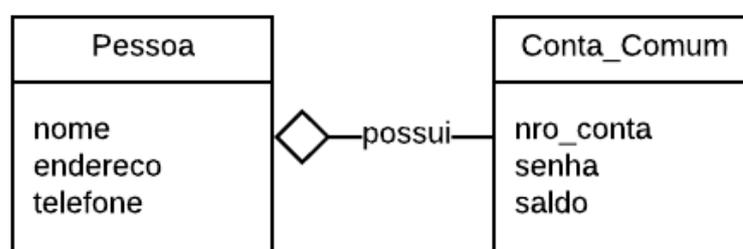


Figura 30: Exemplo de agregação

- **Generalização (ou especialização):** representa a ocorrência de herança entre classes, demonstrando a hierarquia entre elas e possivelmente entre seus métodos. Este tipo de associação é utilizado para evitar a declaração de atributos e métodos idênticos na existência de duas ou mais classes com características semelhantes. Dessa forma ao invés de se criar códigos idênticos para em todas as classes, as classes de hierarquia mais baixa herdam características das classes de hierarquia mais alta e podem ter atributos e métodos próprios [74]. A representação deste tipo de associação é representada pela Figura 31.

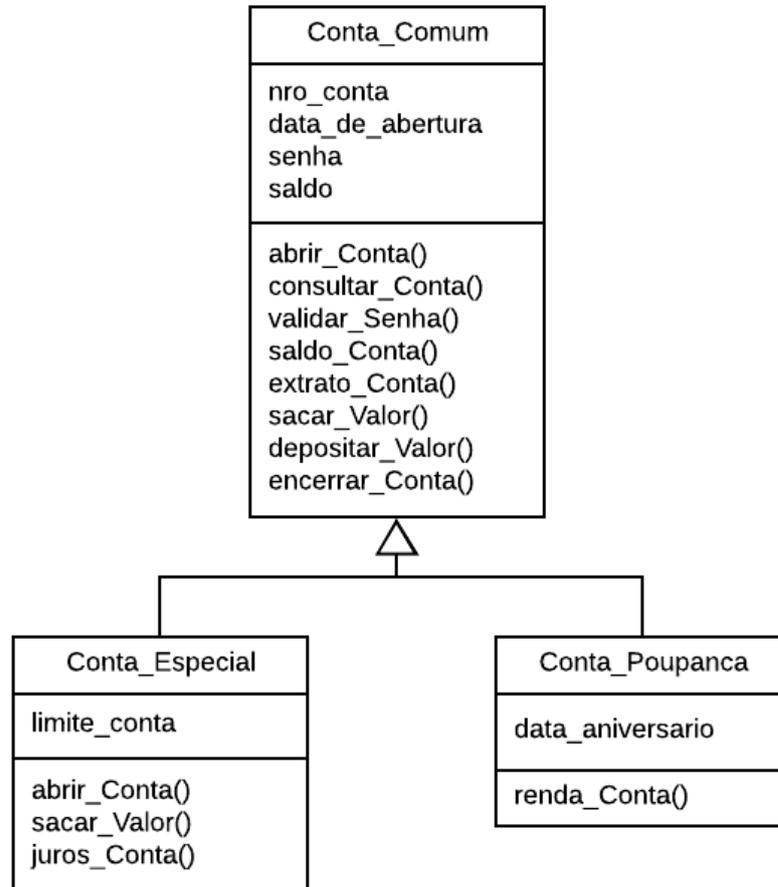


Figura 31: Exemplo de generalização

Além das associações, os diagramas de classes também podem conter interfaces, que descrevem serviços de comunicação entre as classes e são representadas pelo símbolo ilustrado pela Figura 32 [74].

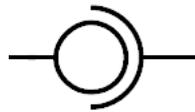


Figura 32: Representação de interfaces

No UML, também existem estereótipos, eles são utilizados para destacar elementos que executam funções um pouco diferente das classes [74]. Exemplos de estereótipos utilizados nos diagramas de classes - representados pela ilustração da Figura 33- são:

- **Estereótipo <<boundary>>**: identifica uma classe que serve de comunicação entre os atores externos e o sistema propriamente dito, esta também é utilizada quando há necessidade de definir uma interface em sistemas complexos e muitas vezes está associada com uma classe <<control>> [74];

- **Estereótipo <<control>>**: identifica classes que servem de intermédio entre as classes <<boundary>> e as demais classes do sistema. Os objetos<<control>> são responsáveis por interpretar os eventos ocorridos sobre os objetos <<boundary>> [74].

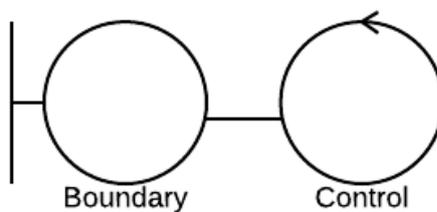


Figura 33: Representação dos estereótipos <<boundary>> e <<control>>

3 Objetivo e Método de pesquisa

Na revisão bibliográfica deste trabalho, foram abordados conceitos relacionados a I4.0 bem como as possibilidades e benefícios que esta abordagem pode propiciar. Além disso, foram apresentadas não só algumas questões e exigências desafiadoras no contexto da I4.0 e da manufatura inteligente, mas também, soluções com potencial para superá-las. Neste contexto, nota-se a necessidade do desenvolvimento e aperfeiçoamento destes novos conceitos, para que obstáculos que inviabilizam a manufatura inteligente sejam superados, em especial no âmbito da montagem de Produtos Inteligentes personalizados.

Diante disso, serão apresentados a seguir o problema de pesquisa explorado nesta dissertação, o objetivo de pesquisa e posteriormente, será descrito o método de pesquisa desenvolvido para este trabalho.

3.1 Problema de pesquisa

Os novos ambientes industriais estão se adequando a um novo paradigma, que é caracterizado pela introdução de inteligência na manufatura. Esses ambientes inteligentes passam a ser constituídos por diferentes recursos baseados em CPS, que estão interconectados entre si por meio da IIoT. Diante disso, grandes quantidades de dados heterogêneos passam a ser geradas, aumentando a complexidade da interpretação e do gerenciamento de dados nos processos de manufatura. Como consequência, isto dificulta não só comunicação entre recursos/sistemas, mas também a transformação de dados e informações em conhecimento.

Mediante ao exposto, os sistemas de gerenciamento de dados tradicionais, como o MES passam a apresentar limitações, se tornando assim obsoletos. Dessa forma, levando em conta a complexidade na troca de dados e informações nos processos de Montagem Inteligente e a dificuldade em viabilizar a produção personalizada, torna-se necessário o desenvolvimento de sistemas de gerenciamento adequados para tais ambientes inteligentes e interconectados baseados em CPS.

3.2 Objetivo do trabalho

Partindo do problema de pesquisa descrito anteriormente, o objetivo desta dissertação de mestrado é desenvolver uma proposta de um modelo para o gerenciamento de

informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente, visando auxiliar na viabilização da abordagem de Montagem Inteligente flexível.

Afim de se obter uma diretriz para a concretização do objetivo proposto, foram estabelecidos os seguintes passos:

- Estudar e identificar as deficiências dos sistemas MES tradicionais em relação às exigências dos ambientes inteligentes de manufatura;
- Estudar as abordagens Montagem Inteligente e seus processos;
- Estudar e identificar pré-requisitos para viabilizar a Montagem Inteligente;
- Estudar e identificar pré-requisitos para o gerenciamento de informações relacionados aos processos de Montagem Inteligente;
- Propor um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS;
- Testar o modelo proposto em um processo de Montagem Inteligente flexível

3.3 Método de pesquisa

A presente dissertação pode ser classificada como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de objetivo exploratório e baseada em pesquisa bibliográfica.

Considerando esta classificação e o objetivo proposto, foi adotada a abordagem DSR (*Design Science Research*) como método para o desenvolvimento deste trabalho. O DSR é uma abordagem de pesquisa científica que se originou nos âmbitos de sistemas de informação e sistemas de gerenciamento. Ele leva em consideração os rigores da academia e tem potencial não só para gerar conhecimento científico, mas também auxiliar na solução de problemas reais.

As soluções geradas pelo DSR podem generalizar uma classe específica de problemas, auxiliando outros pesquisadores em diferentes situações. Além disso, com a aplicação do DSR pode-se reduzir a lacuna existente entre teoria e prática, dado que seu método não está somente orientado a solução do problema, mas também a produção de conhecimentos que podem servir como referência para o enriquecimento da teoria [75].

O DSR já foi formalizado por diversos autores, contudo, nesta dissertação será utilizado como base o método formalizado por Bunge, que é ilustrado pela Figura 34.

A formalização de Bunge [76], além de permitir que o pesquisador expanda seus conhecimentos sobre um novo fenômeno, favorece a criação e o desenvolvimento de tecnologias eficazes e aplicáveis.

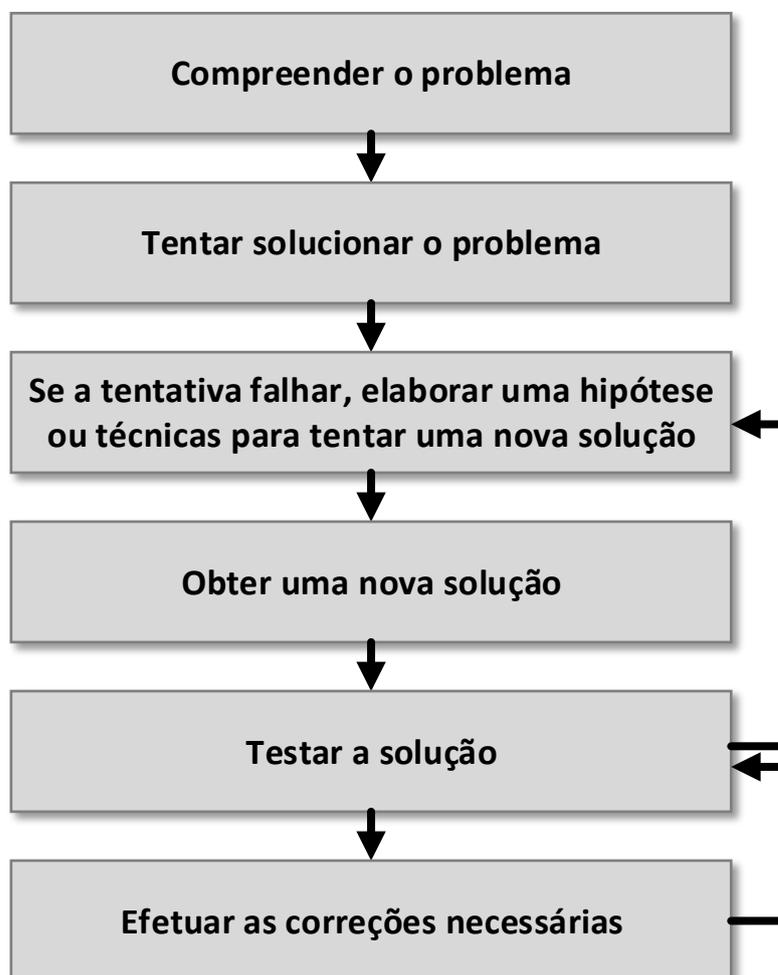


Figura 34: Etapas da metodologia DSR, adaptada de Drash et al. [75]

Após identificar um problema, na primeira etapa do método, o pesquisador deve buscar compreendê-lo. Uma vez que o problema é compreendido, o pesquisador pode avançar para a segunda etapa, que é reunir ideias na tentativa de solucionar o problema. Para tal, sugere-se o uso de fontes científicas já existentes, baseadas em conhecimentos teóricos e empíricos.

A terceira etapa deste método trata da possibilidade de criar novas hipóteses ou técnicas para solucionar o problema, caso a primeira tentativa tenha falhado. A quarta etapa deste método é a obtenção de uma solução, que pode ser exata ou aproximada. Neste método, a solução não precisa ser uma solução ideal, contudo, ela deve ser uma solução satisfatória para o problema.

Uma vez que o pesquisador obteve uma solução em potencial para o problema, ela deve ser testada, de maneira que a solução desenvolvida seja conceitualmente ou substancialmente avaliada, afim de determinar se ela é adequada para o propósito desejado.

Por fim, a última etapa do método consiste em efetuar correções que se façam necessárias. Para tal, as etapas anteriores devem ser reexaminadas na busca de oportunidades de melhorias ou correções, de maneira que após qualquer correção a solução seja testada novamente [75].

Tomando a abordagem DSR formalizado por Bunge [76] como base, foi elaborado o método para o desenvolvimento deste trabalho. O método de trabalho resultou nas etapas ilustradas pela Figura 35 e será conduzindo da seguinte forma:

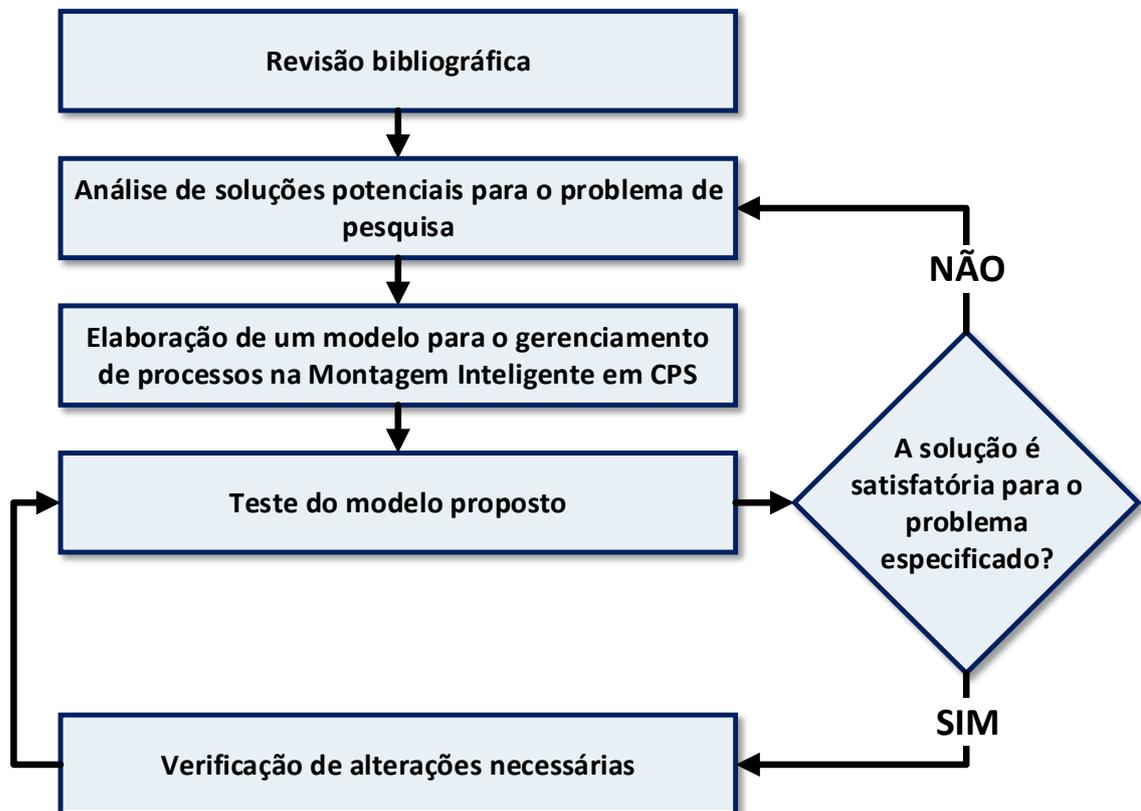


Figura 35: Método de pesquisa

- I. **Revisão bibliográfica:** primeiramente, foi elaborada uma revisão bibliográfica no intuito de compreender o problema de pesquisa desta dissertação e também de obter uma melhor conscientização e familiarização com as seguintes questões:
 - Abordagens de Montagem Inteligente;

- Necessidades, tendências e desafios da Montagem Inteligente;
 - Origens de problemas e deficiências relacionadas ao gerenciamento de processos na manufatura inteligente;
 - Padronização e normas para sistemas inteligentes no contexto da I4.0.
- II. Análise de soluções potenciais para o problema de pesquisa:** paralelamente a elaboração da revisão bibliográfica, foi feita uma análise nos documentos encontrados visando encontrar métodos, ferramentas e técnicas, já propostas por outros pesquisadores, que tenham potencial para solucionar o problema de pesquisa. Além disso, esta etapa também tem como objetivo formar e reunir ideias para auxiliar na solução do problema.
- III. Elaboração de um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente:** a partir da análise e reunião de ideias, foi elaborada nesta etapa uma proposta de modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS. O objetivo desta etapa foi obter um modelo que superasse as limitações descritas no problema de pesquisa e favorecesse o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente.
- IV. Teste do modelo proposto:** esta etapa consistiu em verificar se o modelo elaborado na etapa anterior era uma solução satisfatória. Para tal, foi feita a aplicação do modelo em um processo de Montagem Inteligente fictício.
- Após a realização do teste, caso o modelo não fosse considerado uma solução satisfatória a etapa II deveria ser retomada, em busca de novas soluções e ideias para a elaboração de um novo modelo.
- V. Verificação de alterações necessárias:** após obter uma solução satisfatória para o modelo proposto, foi feita uma revisão nas etapas anteriores em busca de oportunidades de melhorias. Como houveram pequenas alterações e melhorias no modelo, cada vez que o modelo foi modificado retornou-se a etapa IV para refazer o teste do modelo melhorado.

Esta última etapa se trata de um ciclo de otimização contínuo, permitindo que o modelo seja constantemente melhorado sempre alguma oportunidade for identificada.

4 Proposta de um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente

Conforme apresentado no capítulo anterior, foi elaborado um método para solucionar o problema de pesquisa e atingir o objetivo proposto neste trabalho, que é propor um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS. Diante disso, será descrito neste capítulo como as etapas do método foram realizadas.

4.1 Revisão bibliográfica

A primeira etapa do método consistiu na elaboração da revisão bibliográfica, desta dissertação (Capítulo 2). Para tal, conforme o escopo do trabalho, foram conduzidas pesquisas com foco nos temas “Montagem Inteligente”, “padronização na I4.0” e “gerenciamento da manufatura”.

Em relação ao tema “Montagem Inteligente”, foi realizada uma pesquisa no site Scopus®¹⁸ utilizando a *string* “*smart assembly*” (termo em inglês para montagem inteligente) no campo de busca, selecionando a opção “buscar em títulos do artigo, resumo e palavras-chave” e sem limite de data de publicação dos artigos.

Com os documentos resultantes da busca, foi feita uma primeira filtragem pelo conteúdo do resumo dos mesmos, aqueles que se encaixavam no escopo da dissertação foram selecionados para *download*. Contudo, somente após a leitura dos documentos baixados, foram selecionados os documentos que de fato fariam parte do referencial bibliográfico desta dissertação. Além dos documentos resultantes desta busca, documentos recomendados pelo orientador deste trabalho de mestrado e pelos colegas do instituto DiK; e além disso, consultas a outras fontes de busca eletrônicas também compõem a revisão bibliográfica.

Dado que I4.0 se trata de uma iniciativa do governo alemão, para a pesquisa sobre o tema “padronização na I4.0” foram utilizados os sites da *Plattform Industrie 4.0*¹⁹ e ZVEI²⁰. Em ambos os sites, se encontram documentos oficiais da iniciativa I4.0.

¹⁸ Scopus é o maior banco de dados de resumos e citações da literatura com revisão por pares: revistas científicas, livros, processos de congressos e publicações do setor.

¹⁹ Criada no intuito de avançar no desenvolvimento da iniciativa I4.0 e que é constituída por associações de renome como BITKOM, VDMA, ZVEI e que desde 2015 tem como membros agentes de companhias, associações, uniões, ciência e política [85].

²⁰ Uma das mais importantes associações na Alemanha, que representa os interesses no ramo da alta tecnologia [86].

Em se tratando de “gerenciamento da manufatura”, além das informações relevantes já encontradas sobre este tema nos documentos oriundos das pesquisas anteriores, também foram utilizadas fontes acadêmicas e corporativas resultantes da busca em diversas fontes na internet.

4.2 Análise de soluções potenciais para o problema de pesquisa

Além de buscar uma maior compreensão sobre o problema de pesquisa, durante a leitura dos documentos resultantes da etapa anterior, foi feita uma minuciosa busca por métodos, ferramentas e técnicas em desenvolvimento que tivessem congruência com a abordagem de Montagem Inteligente e ao mesmo tempo potencial para solução do problema de pesquisa deste trabalho.

Por meio dessa análise, foram identificadas as abordagens presentes nos Tópicos 2.5.1, 2.5.2 e 2.5.3 e 2.6. Isto serviu como base para a elaboração do modelo proposto nesta dissertação, que será descrita a seguir.

4.3 Elaboração de um modelo

Após a compreensão do problema de pesquisa e a análise realizada na etapa anterior, para a elaboração do modelo foram utilizadas como base as abordagens de MOM e Invólucro Administrativo associadas à conceitos de gerenciamento de dados relacionados aos processos de manufatura presentes no Tópico 2.6.

Conforme recomendado pela ZVEI [1], para se estabelecer um MOM, deve-se utilizar como base elementos e funções relevantes do MES e de sistemas de gerenciamento de dados tradicionais. Assim, primeiramente foram extraídos do Tópico 2.6 elementos fundamentais para o gerenciamento de dados e informações dentro do escopo da Montagem Inteligente, os quais estão presentes na estrutura ilustrada pela Figura 36.

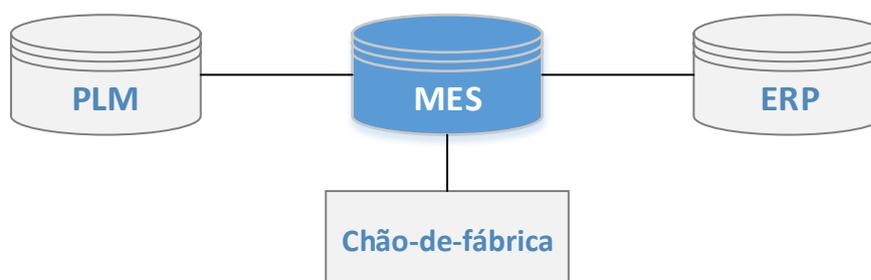


Figura 36: Elementos necessários para Montagem Inteligente

Nota-se que o MES é o elemento central desta estrutura, ele deve estar vinculado aos sistemas ERP e PLM e também ao chão-de-fábrica de uma unidade de manufatura. Com base nessa estrutura, serão descritos a seguir quais funções relevantes de cada elemento serão levadas em consideração para elaboração do modelo proposto neste trabalho:

- **Chão-de-fábrica:** o chão-de-fábrica deve estar vinculado ao sistema de gerenciamento como um todo, pois é no chão de fábrica que estão instalados os diversos sensores e controladores lógicos programáveis (CLPs) das máquinas e equipamentos de uma companhia. São estes dispositivos que irão garantir o *input* de dados no sistema para que este execute a gestão dos processos de manufatura. Contudo, os ambientes inteligentes, estão além de CLPs e sensores, pois os recursos de manufatura são baseados em CPS. Dessa forma deve haver não só uma comunicação entre os recursos de manufatura do chão de fábrica, mas também uma comunicação bidirecional entre chão-de-fábrica e sistema de gestão. É importante ressaltar que, essa interconexão entre recursos de manufatura e sistema de gestão envolve a coleta e troca de dados em tempo real, para que qualquer alteração no processo ou envio de alertas não prejudique de alguma forma a produção. Além disso, o feedback em tempo real do chão-de-fábrica para os sistemas de gestão garante tomadas de decisão eficientes à nível estratégico da empresa e alimentam modelos de simulação com dados dinâmicos reais.
- **PLM:** em se tratando de Montagem Inteligentes, o PLM possui um papel importante no modelo, dada sua função de gerenciar todas as informações essenciais diretamente relacionadas a um produto durante todo seu ciclo de vida, abrangendo concepção, projeto, fabricação, uso e reciclagem.

Na elaboração do modelo serão levados em consideração as seguintes funções se uma solução PLM:

- Gestão de documentos;
- Gestão de modelos CAD;
- Gestão de listas;
- Gestão de alterações e configurações;
- Visualização integrada.

- **ERP:** é importante que o ERP faça parte do modelo, pois ele contém informações essenciais - mesmo que indiretamente relacionadas - para o gerenciamento do processo de montagem. A utilização do ERP pode viabilizar comunicação e interconexão entre os processos de Montagem Inteligente com diversos recursos e partes integrantes da empresa, como por exemplo logística, recursos humanos e fornecedores, clientes, ou elementos externos a planta que estejam envolvidos no processo. Além disso, O ERP abrange o planejamento, execução e controle de processos sob uma perspectiva econômica e financeira, favorecendo a visualização de todas as transações efetuadas na empresa. Dessa forma, ele favorece a integração horizontal e vertical da companhia, que são pré-requisito da I4.0.

Na elaboração do modelo, serão levadas em consideração as competências do ERP de gestão de Manufatura (associada ao MES), gestão de recursos humanos, gestão de tecnologia e também, superficialmente, a gestão de vendas e serviços.

- **MES:** elemento central do modelo e vital para a gestão da execução da manufatura, o MES recebe o *input* dos demais elementos da estrutura presente na Figura 36, para que esteja apto a cumprir sua função.

Para elaboração do modelo, serão levadas em consideração as seguintes competências do MES:

- Rastreabilidade de produtos;
- Alocação de recursos;
- Análise de desempenho;
- Gestão e monitoramento do processo;
- Aquisição e cólera de dados.

Partindo dos elementos descritos na Figura 36, foi elaborada uma nova estrutura, agora baseada em MOM, que é ilustrada pela Figura 37. Nesta estrutura, o MOM deverá gerenciar todos os dados e informações relacionadas aos processos de montagem e fornecer fluxos de valor otimizados, de forma a gerar conhecimento para empresa e favorecer tomadas de decisão mais ágeis e eficientes, melhorias no processo, bem como gerar maior valor agregado ao produto. Esta nova estrutura baseada no MOM, foi elaborada visando suprir as deficiências dos sistemas de gerenciamento tradicionais e também atender os seguintes pré-requisitos listados na

Tabela 3: flexibilidade, modularidade, monitoramento e rastreabilidade contínua em tempo real, ferramentas e métodos para planejamento e gestão de sistemas complexos, aquisição e fornecimento de dados em tempo real, integração e colaboração de sistemas heterogêneos (padronização) e identificação única de produtos e componentes.

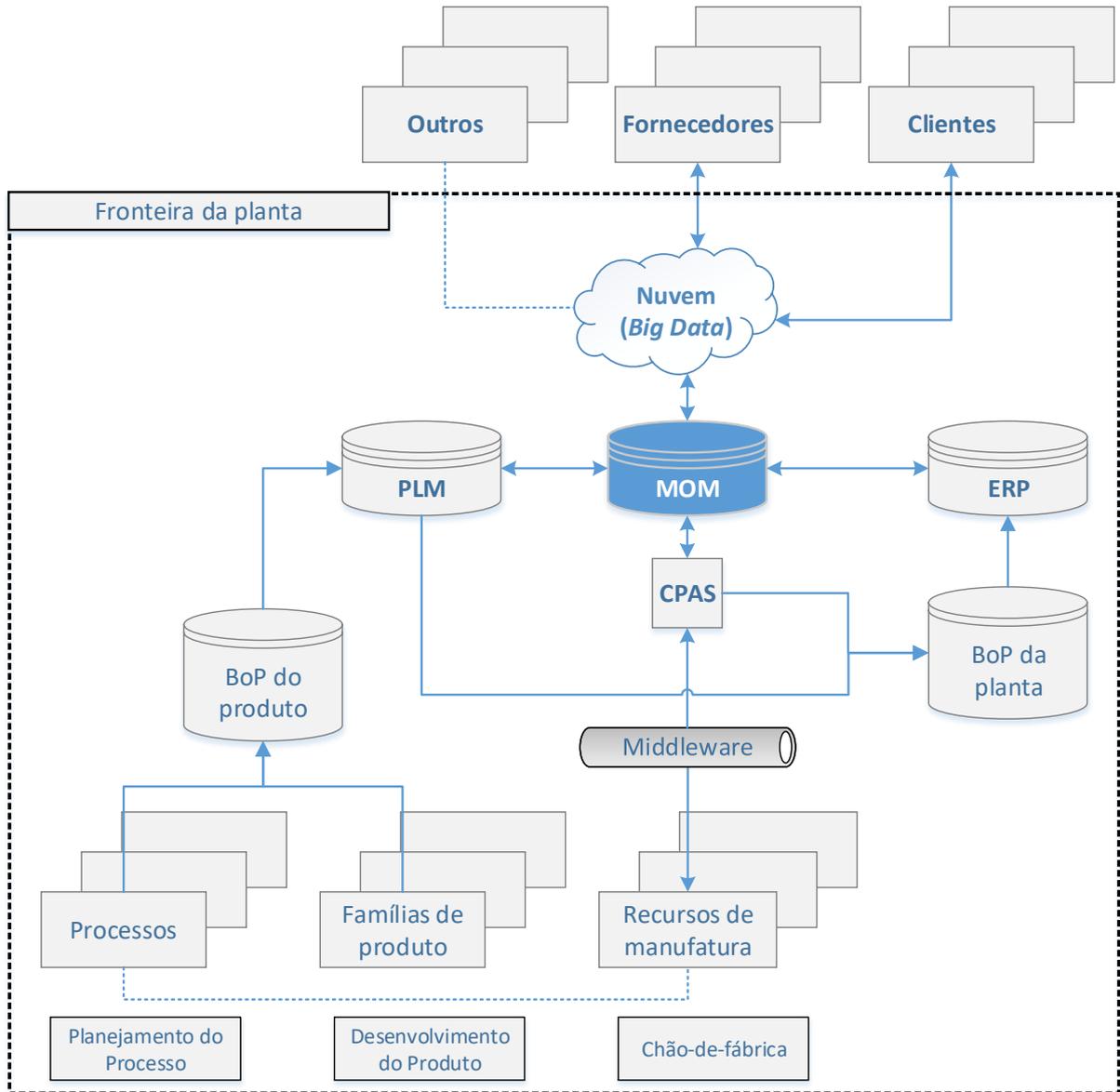


Figura 37: Estrutura do modelo de gerenciamento de informações baseado em MOM

Nota-se nesta estrutura uma demarcação da fronteira da planta, que é delineada por um quadrado preto pontilhado. Os elementos externos à planta (clientes, fornecedores entre outros) podem se vincular ao sistema de gerenciamento baseado em MOM desde que conectados à nuvem da planta por meio da IIoT.

Esta nuvem deverá garantir a interconexão entre todos os elementos do modelo (internos e externos à planta) e além disso, deve possibilitar tanto a troca de dados entre estes elementos em tempo real, quanto assegurar onipresença destes dados no sistema.

Os principais elementos presentes dentro da fronteira da planta são CPAS, PLM, ERP, Nuvem e MOM, estes serão descritos de forma detalhada a seguir:

- **CPAS:** por se tratar de um modelo para gestão da Montagem Inteligente, o elemento “chão de fábrica” da Figura 36, foi substituído pelo elemento CPAS, que engloba qualquer recurso de manufatura de uma planta.

Todos os recursos de manufatura presentes na planta são integrados ao CPAS por meio de um *middleware*, como sugerido por Cao et al. [32]. Com tudo, no desenvolvimento do modelo desta dissertação, não está sendo levado em consideração quais elementos físicos (hardwares, roteadores e outros equipamentos de rede) são necessários para a interconexão entre os recursos de manufatura, nem como as redes e devem ser configuradas, pois além de serem questões individuais de cada empresa, o foco do desenvolvimento deste modelo está nos dados e informações que serão trocados durante a Montagem Inteligente, afim de viabilizar a gestão e o monitoramento dos processos pelo MOM.

- **PLM:** o PLM possui uma base de dados importante no modelo, em que estão armazenados os dados relacionados aos produtos e seus respectivos processos (que estão relacionados aos recursos de manufatura no CPAS) de montagem. Com esta base de dados, seria possível abastecer o MOM com informações relevantes e necessárias para viabilizar o gerenciamento da execução dos processos de Montagem Inteligente.

Inspirado no trabalho de Müller et al. [12], todos os dados oriundos do setor de desenvolvimento do produto e do setor de planejamento do processo, são armazenados em uma lista rotulada de BoP do Produto, que será armazenada na base de dados PLM do modelo proposto.

- **ERP:** o ERP possui duas funções importantes nesta estrutura. Uma delas, é a gestão do relacionamento com elementos externos a planta, como clientes, fornecedores ou outros²¹ envolvidos no processo. A segunda, é o armazenamento da BoP da Planta em seu banco de dados. Nesta estrutura, a BoP da Planta, é

²¹ O subgrupo “outros” pode englobar parceiros, outra planta da mesma companhia, *stakeholders*, etc.

resultante da associação entre da base de dados PLM e os recursos de manufatura presentes no CPAS.

As informações contidas na BoP da Planta também possuem relevância substancial para os processos de Montagem Inteligente, pois irá conter todas as configurações dos layouts das linhas de montagem de acordo com cada variante de cada família produto. Além disso, a BoP da Planta irá conter não só os parâmetros de execução do processo de cada estação que constitui as linhas de montagem, mas também dados e informações que devem ser redirecionadas para as ferramentas que serão utilizadas no processo.

- **Nuvem:** essencial no contexto da I4.0 e em ambientes inteligentes, a nuvem também possui um papel importante nesta estrutura. Associada a IIoT, a nuvem irá viabilizar a conexão ponto a ponto (interconectividade) entre sistemas heterogêneos, não só entre os elementos internos de uma planta, mas também entre elementos externos a suas fronteiras. Com isto, a nuvem viabilizará a onipresença de dados entre diferentes sistemas, dessa forma será possível que o MOM execute troca de informações em tempo real.

Esta estrutura, sugere que os elementos CPAS, PLM e ERP estejam conectados ao MOM via rede local (LAN) antes que o MOM seja interconectado à nuvem.

Apesar de não estar explícito nesta estrutura, é importante destacar que a interconexão do MOM à nuvem irá possibilitar o armazenamento de dados coletados, formando assim um *Big Data*²². Para que os dados armazenados no *Big Data* sejam utilizados de maneira eficiente, eles deveram passar por mecanismos de filtragem e mineração de dados e em seguida analisados por sistemas de computação na nuvem (ex.: *cloud computing*). Como consequência disso, seria possível otimizar o abastecimento de dados do MOM, de forma que sejam armazenadas apenas a informações relevantes e com detalhamento apropriado, e assim gerar conhecimento na planta, favorecendo tomadas de decisões mais eficientes.

- **MOM:** como elemento central da estrutura, o MOM deve estar vinculado à nuvem para transcender os limites de uma planta e possibilitar que elementos externos se

²² Apesar da estrutura sugerir o uso do *Big Data*, nesta dissertação não será indicado qual tipo de *Big Data* deverá ser implementado, pois esta é uma questão facultativa de cada companhia. Contudo, serão indicados os pré-requisitos que a nuvem e o *Big Data* devem possuir para o funcionamento do modelo proposto.

conectem a ela. Esta interconexão com a nuvem via IIoT, permite ao MOM seja associado a um *Big Data*, como recomendado por ZVEI [1], para obtenção de maiores benefícios e melhor eficiência do sistema de gestão. Além disso, vinculado aos demais elementos da estrutura, o MOM deve ser abastecido com dados e informações fundamentais em tempo real, para que se torne apto a gerenciar e monitorar os processos de Montagem Inteligentes. Contudo, para que isto seja possível, ele necessita operar em conjunto com o Invólucro Administrativo.

Após compreender a estrutura do sistema de gestão em MOM, o próximo passo para elaboração do modelo foi idealizar como os produtos e seus respectivos componentes seriam integrados ao sistema para que seus respectivos processos de montagem possam ser gerenciados pelo MOM. Para tal, foi utilizada a abordagem de Invólucro Administrativo, como mostra a estrutura ilustrada pela Figura 38.

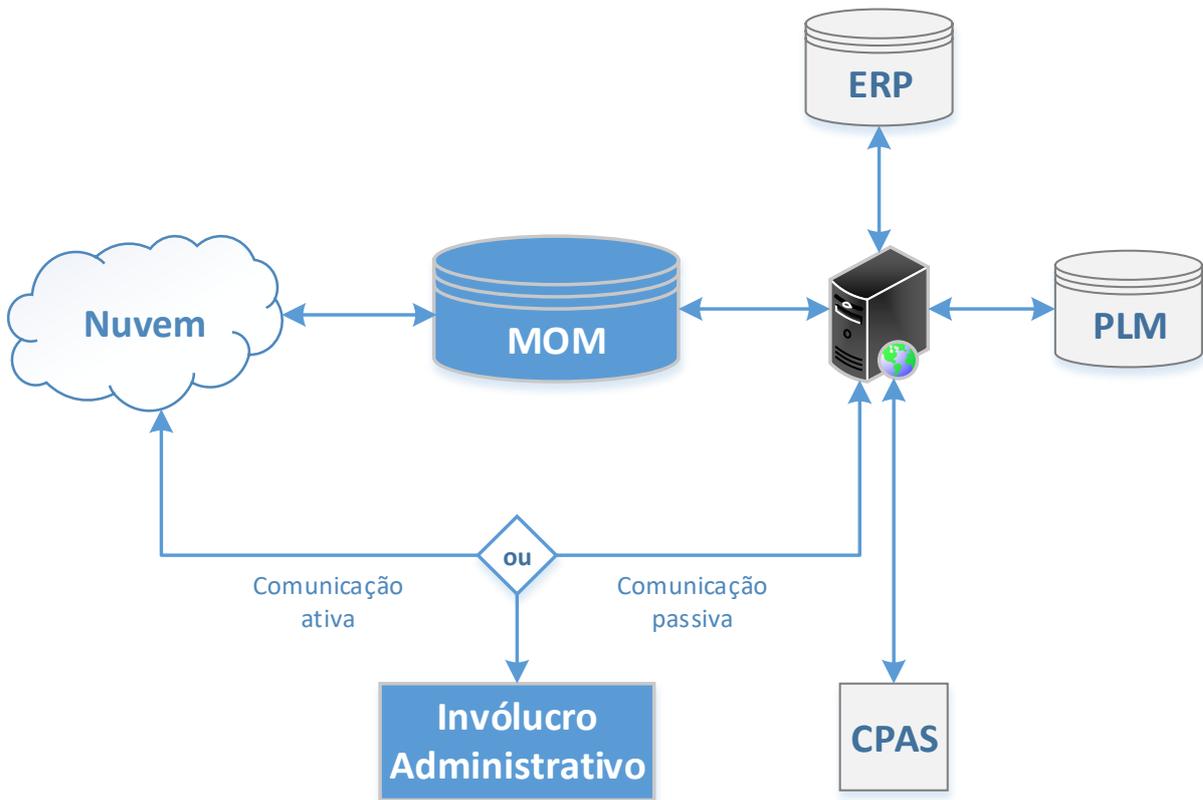


Figura 38: Estrutura do Invólucro Administrativo integrado ao MOM

É possível notar que esta estrutura contém alguns dos elementos internos a planta da Figura 37, contudo, nesta estrutura, os elementos ventrais são o MOM e o Invólucro Administrativo.

Considerando as possibilidades de comunicação ativa e passiva entre Produto-Invólucro Administrativo-MOM apresentados no relatório do RAMI4.0 [19], esta estrutura foi elaborada para funcionar com ambos os tipos de comunicação, pois esta questão é relativa ao nível tecnológico das companhias e às necessidades do processo referente ao produto a ser manufaturado/montado.

Segundo a literatura, caso o produto tenha competência de comunicação ativa, o seu respectivo Invólucro Administrativo irá se interconectar ao MOM diretamente via Nuvem (IIoT). No caso de comunicação passiva, o produto irá se conectar ao sistema primeiramente via servidor - que deve ser disponibilizado pelo setor responsável de TI - para depois ser interconectado ao MOM [19] [34]. Contudo, interdependente da sua competência de comunicação, nesta estrutura (Figura 38) o produto estará hábil para se comunicar com o MOM e com o CPAS por intermédio do Invólucro Administrativo.

Após se interconectar ao MOM, o Invólucro Administrativo terá as seguintes funções:

- Representação virtual de uma determinada variante de um produto;
- Solicitar informações ao MOM, reunindo informações necessárias para orientar seu próprio processo de montagem,
- Indicar ao CPAS quais as operações necessárias para sua montagem e os parâmetros para executá-las;
- Exibir o status do andamento do processo de Montagem Inteligente em tempo real;
- Coletar dados durante todo o ciclo de vida do produto, reabastecendo o MOM e gerando um *Big Data*.

Mediante ao exposto, foi elaborada a proposta de um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS. Este modelo foi arquitetado com uso do Lucidchart®²³, resultando em um diagrama de classes UML que será apresentado no Tópico 5.1 desta dissertação.

²³ O Lucidchart é uma plataforma de diagramação on-line utilizada não só para visualizar processos, modelos, mas também para criar diagramas baseados em bibliotecas padronizadas ou criar modelos personalizados a partir do zero.

4.4 Teste do modelo proposto

Afim de verificar se o modelo proposto atende o problema de pesquisa, foi idealizado um processo de Montagem Inteligente fictício que se passa em uma empresa, caracterizada como uma planta de montagem CPAS, com nome fantasia de CPAS4.0.

Na CPAS4.0 são montadas três famílias de produtos: uma família para o produto carrinho, uma para o triciclo e uma para a motocicleta, que são ilustradas pela Figura 39. Para a concepção destes foi utilizado o software LEGO Digital Designer®.



Figura 39: Famílias de produtos montadas no CPAS4.0

A missão da CPAS4.0 é oferecer a seus clientes produtos personalizados, de maneira que eles possam escolher diferentes opções de cores dos componentes que constituem os produtos. Para cada família (classe) de produto, existe uma configuração diferente para a linha de montagem da planta. As diferentes configurações (*layouts*) da CPAS4.0 foram elaboradas visando obter estações modulares que se adaptam de acordo com o produto e seu respectivo processo de montagem.

Neste tópico, primeiramente será feita uma contextualização dos processos executados na CPAS4.0. Em seguida serão descritos de forma mais detalhada os produtos montados na CPAS4.0, as configurações das linhas de montagem e suas respectivas estações modulares, bem como os processos de Montagem Inteligente executados nesta planta.

4.4.1 Contextualização dos processos executados na CPAS4.0

Existem algumas particularidades a serem levadas em consideração para o entendimento da Montagem Inteligente executada na CPAS4.0:

- Por se tratar um ambiente de montagem CPS, esta planta é considerada um CPAS, onde são executados apenas processos de montagem e nenhum processo de fabricação de componentes. Os processos de montagem nas estações são executados por operadores humanos;
- Os componentes a serem montados no CPAS já chegam acabados e com uma *tag* de identificação única diretamente dos fornecedores;
- Para que os produtos possam ser gerenciados pelo MOM e interconectados ao CPAS, eles serão envolvidos por um Invólucro Administrativo de comunicação passiva;
- Para serem inicialmente envolvidos pelo Invólucro Administrativo, cada produto terá um componente mestre com uma *tag* RFID, este componente mestre será capaz de se comunicar com seu respectivo Invólucro Administrativo e também com a linha de montagem. Os demais componentes terão uma *tag* QR-Code para que sejam reconhecidos e envolvidos pelo Invólucro Administrativo ao longo da linha no processo de Montagem Inteligente;
- Para viabilizar a comunicação entre os componentes e a linha de montagem, as estações são equipadas com leitores de frequência de rádio e/ou leitores de códigos bidimensionais;
- Os elementos do sistema estarão interconectados entre si, segundo o modelo proposto nesta dissertação;
- Para a interconexão entre os recursos de manufatura desta planta, a CPAS4.0 possui um servidor rede que viabiliza conexão entre a rede chão de fábrica e rede em nível corporativo. Este servidor é interconectado a uma nuvem com competências de computação (*cloud computing*) e *Big Data*, que fornece interfaces de interconexão para os elementos envolvidos no processo.
- O cliente escolhe seu produto personalizado no site da CPAS4.0 e fazendo um *login* com sua identificação, ele pode acompanhar o andamento do processo de Montagem Inteligente do seu pedido em tempo real;
- Apesar se tratar de um ambiente interconectado, com expansão das fronteiras da planta para agentes externos, este teste não explora interfaces entre elementos externos e internos da planta, nem protocolos e semântica de comunicação entre eles. O intuito deste teste, é verificar se o modelo proposto pode garantir que o

MOM seja abastecido com informações suficientes e relevantes para que este esteja apto a gerenciar e monitorar processos de Montagem Inteligente em CPS por meio do Invólucro Administrativo.

4.4.2 Produto 1: Carrinho

Uma das famílias de produto montadas na CPAS4.0, é o carrinho ilustrado pela Figura 40.

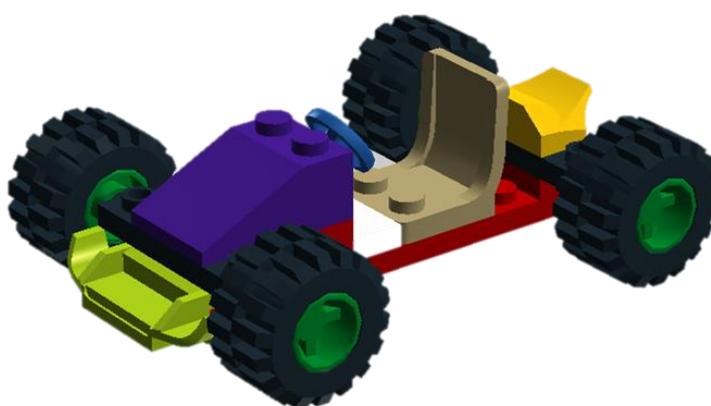


Figura 40: Carrinho

Este carrinho é constituído por 16 componentes no total, cujos itens e cores disponíveis para a escolha do cliente estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4: Componentes do carrinho

Componente	Quantidade	Cores disponíveis
Chassi	1	Azul, branco, cinza, preto, verde e vermelho
<i>Spoiler</i> dianteiro	1	Amarelo, azul, cinza, preto, verde e vermelho
Eixo	2	Cinza, preto e vermelho
Roda	4	Azul, branco, cinza, preto, verde e vermelho
Pneu	4	Preto
Volante	1	Azul, branco, cinza e vermelho
Banco	1	Azul, branco, gelo, preto e vermelho
Capô	1	Amarelo, azul, branco, cinza, preto, roxo, verde e vermelho
<i>Spoiler</i> traseiro	1	Amarelo, azul, cinza, preto, roxo, verde e vermelho

Dentre os componentes mencionados, este produto possui quatro subconjuntos, formados por uma roda e um pneu cada. Isto pode ser percebido na estrutura do produto carrinho ilustrada na Figura 41. É importante destacar que os componentes roda, pneu e *spoiler* traseiro também serão utilizados na classe do produto triciclo.

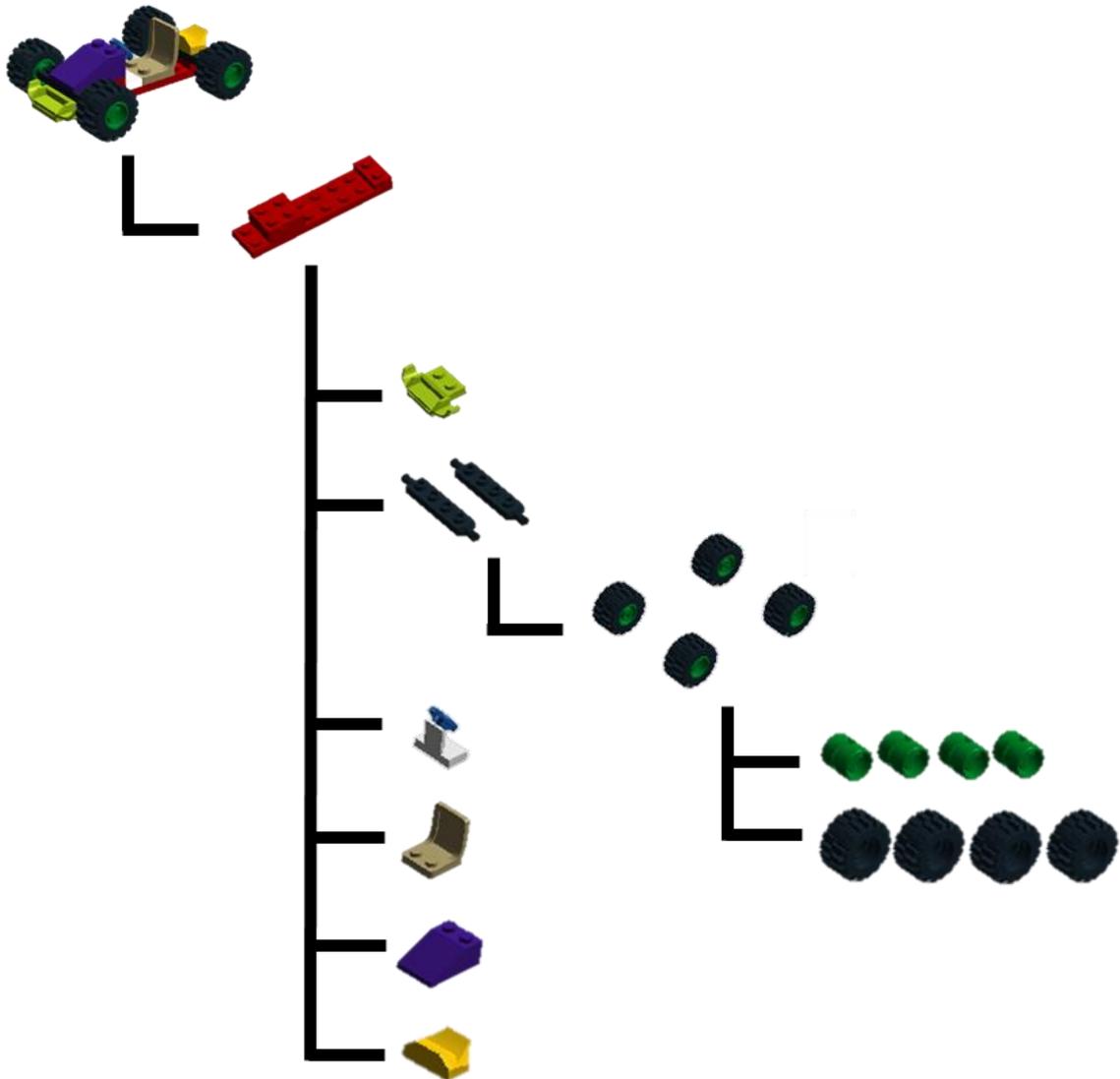


Figura 41: Árvore estrutural do carrinho

Para a execução do processo de Montagem Inteligente da classe carrinho, a linha de montagem necessita da configuração ilustrada pelo layout da Figura 42.

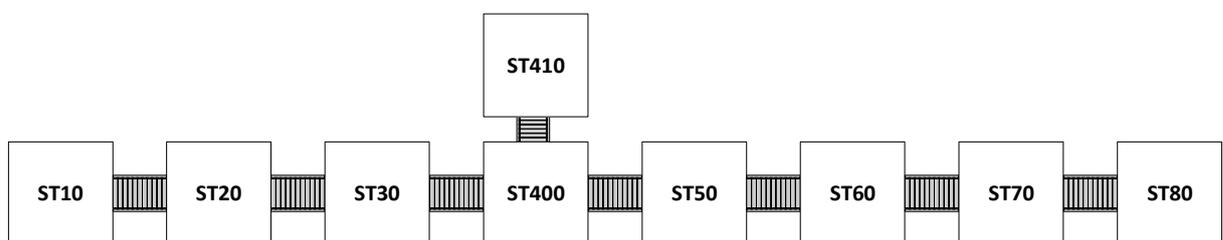


Figura 42: Layout da linha de montagem do carrinho

Esta configuração contém nove estações (STs), cujas operações executadas são:

- ST10: integrar componente mestre (chassi) ao Invólucro Administrativo;

- ST20: acrescentar o *spoiler* dianteiro;
- ST30: acrescentar os dois eixos;
- ST410: montagem de quatro subconjuntos de roda + pneu;
- ST400: acrescentar os quatro subconjuntos oriundos da ST410;
- ST50: acrescentar o volante;
- ST60: acrescentar o banco;
- ST70: acrescentar o capô;
- ST80: acrescentar *spoiler* traseiro.

Dentre as estações listadas acima a ST30, ST50, ST60 e ST70 são exclusivas para montagem de componentes da classe do carrinho.

4.4.3 Produto 2: Triciclo

Outra família de produto montada do CPAS4.0 é o triciclo ilustrado pela Figura 43.



Figura 43: Triciclo

Este é constituído por 11 componentes no total, cujos itens e cores disponíveis para a escolha do cliente estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5: Componentes do triciclo

Componente	Quantidade	Cores disponíveis
Chassi	1	Azul, branco e vermelho
Guidão com suspensão	1	Azul, branco, preto e vermelho
Roda dianteira	1	Azul, cinza e preto
Roda traseira	2	Azul, branco, cinza, preto, verde e vermelho
Pneu	3	Preto
Spoiler traseiro	1	Amarelo, azul, cinza, preto, roxo, verde e vermelho
Farol dianteiro	1	Branco
Farol traseiro	1	Vermelho

Dentre os componentes mencionados, este produto possui três subconjuntos, dois deles formados por uma roda traseira e um pneu cada, e outro formado por roda dianteira e pneu. Isto pode ser percebido na estrutura do produto carrinho ilustrada na Figura 44.

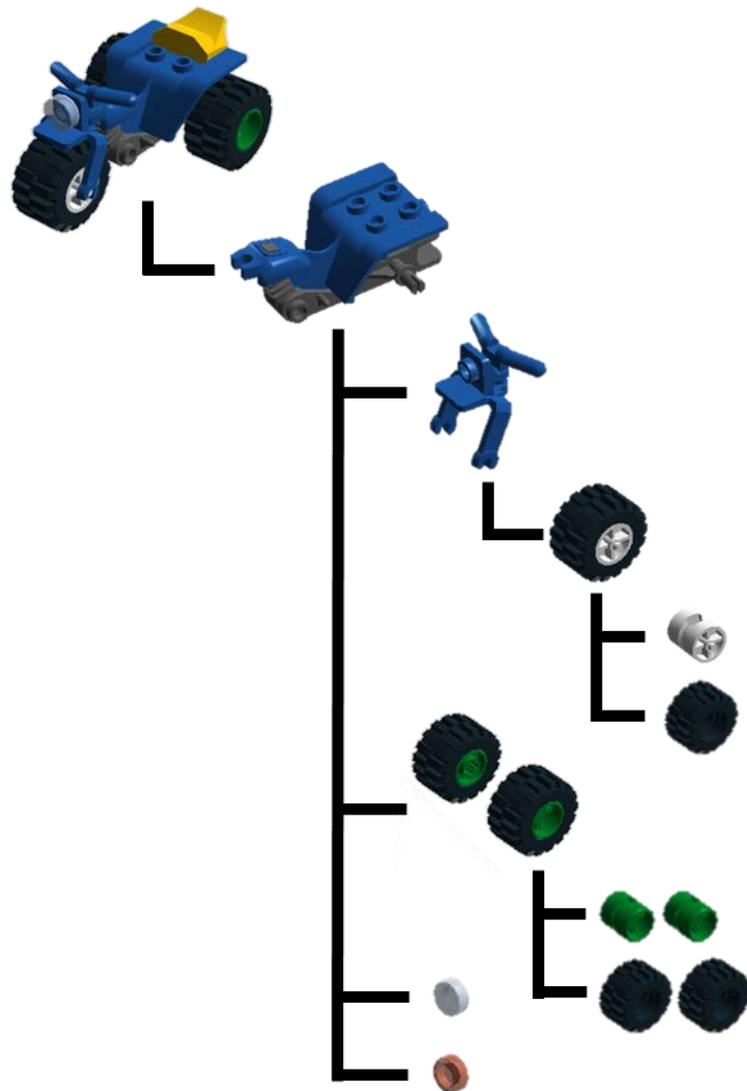


Figura 44: Árvore estrutural do triciclo

Como mencionado anteriormente os componentes roda traseira (equivalente a roda do carrinho), pneu e *spoiler* traseiro são os mesmos utilizados na classe do produto carrinho.

Para a execução do processo de Montagem Inteligente da classe triciclo, a linha de montagem necessita da configuração ilustrada pelo layout da Figura 45.

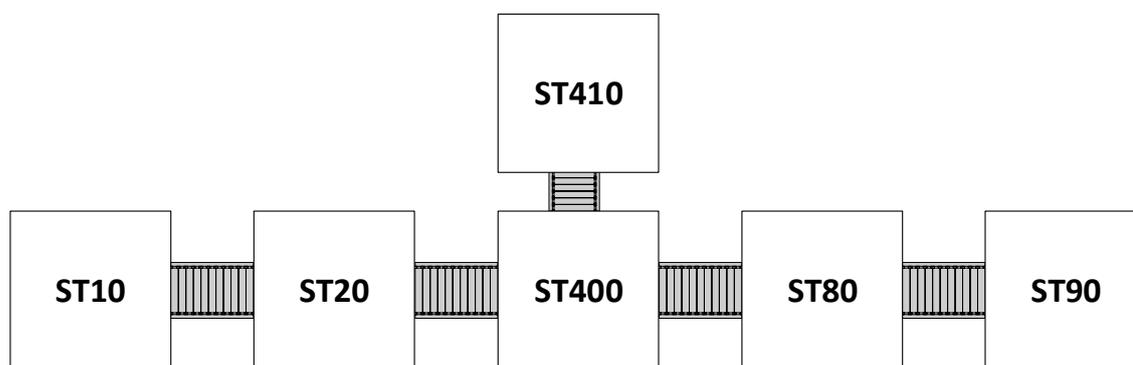


Figura 45: Layout da linha de montagem do triciclo

Esta configuração contém seis estações (STs), cujas operações executadas são:

- ST10: integrar componente mestre (chassi) ao Invólucro Administrativo;
- ST20: acrescentar o guidão com suspensão;
- ST410: montagem de dois subconjuntos de roda traseira + pneu e um subconjunto de roda dianteira + pneu;
- ST400: acrescentar os três subconjuntos oriundos da ST410;
- ST80: acrescentar *spoiler* traseiro;
- ST90: acrescentar faróis dianteiro e traseiro.

Dentre as estações listadas acima a ST90 é exclusiva para montagem de componentes da classe do triciclo.

4.4.4 Produto 3: Moto

Por fim, a terceira e última família de produto montada no CPAS4.0 é a moto ilustrada pela Figura 46.



Figura 46: Moto

Esta moto é constituída por 5 componentes no total, cujos itens e cores disponíveis para a escolha do cliente estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6: Componentes da moto

Componente	Quantidade	Cores disponíveis
Quadro	1	Amarelo, azul, cinza, preto, verde e vermelho
Aro	2	Amarelo, azul, cinza, preto, verde e vermelho
Pneu	2	Preto

Dentre os componentes mencionados, este produto possui dois subconjuntos formados por um aro e um pneu cada. Isto pode ser percebido na estrutura do produto carrinho ilustrada na Figura 47. Nenhum dos componentes da moto são compartilhados com as outras classes de produtos da CPAS4.0.

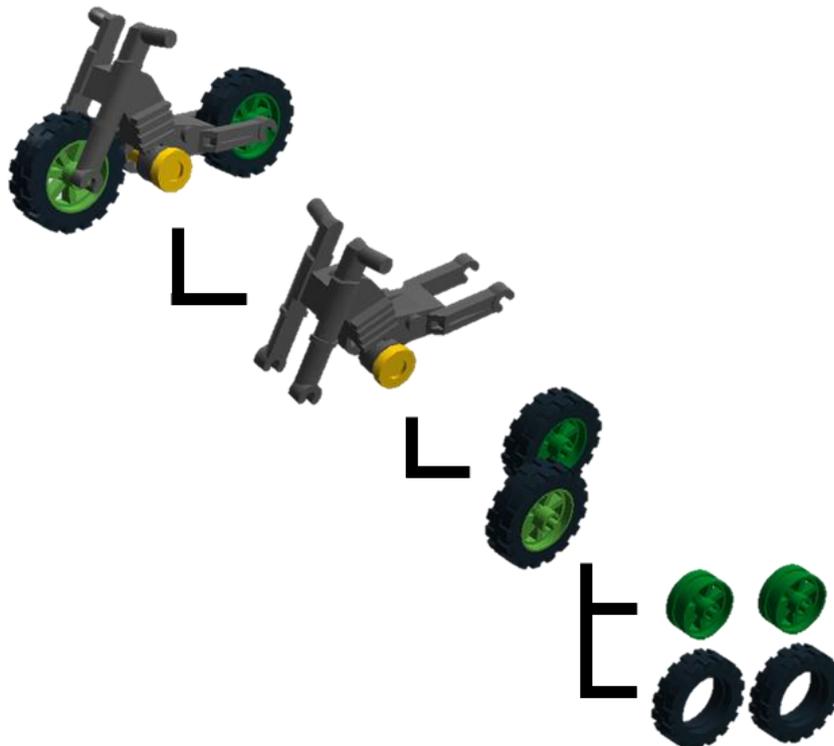


Figura 47: Layout da linha de montagem do triciclo

Para a execução do processo de Montagem Inteligente da classe moto, a linha de montagem necessita da configuração ilustrada pelo layout da Figura 48.

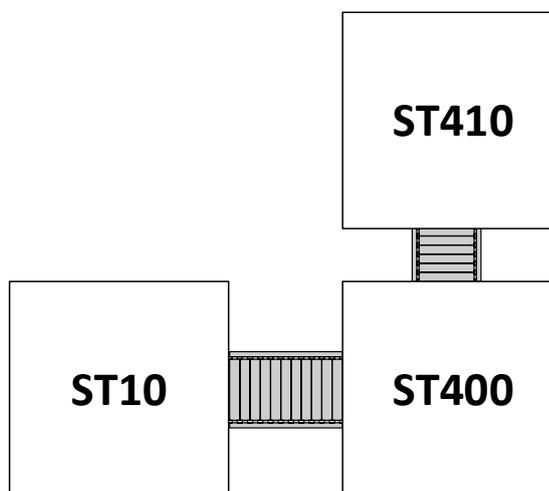


Figura 48: Layout da linha de montagem da moto

Esta configuração contém três estações (STs), cujas operações executadas são:

- ST10: integrar componente mestre (quadro) ao Invólucro Administrativo;
- ST410: montagem de dois subconjuntos de aro + pneu;
- ST400: acrescentar os dois subconjuntos oriundos da ST410.

4.4.5 Processo de Montagem Inteligente

Apresentada a contextualização acima, será descrito neste tópico como o processo de Montagem Inteligente e sua respectiva gestão são executados na planta.

A gestão da Montagem Inteligente da CPAS4.0 se dá antes mesmo do início de seu processo no chão de fábrica. Ela começa no momento em que o cliente finaliza a escolha de seu produto personalizado, o que dá início a fase de preparação da Montagem Inteligente.

Nesta fase de preparação, a partir das informações do pedido do cliente, são coletados na BoP do Produto os componentes referentes a variante do produto personalizado escolhida e também os processos e estações necessárias para a sua montagem. Reunidos estes dados, uma identificação única é gerada para ele.

Após a obtenção os dados referentes variante do produto personalizado, são coletados na BoP da Planta o layout da linha correspondente a este produto e os

parâmetros de montagem de cada estação. Reunidas estas informações, uma ordem de montagem é gerada para o pedido do cliente e em seguida agendada.

Ainda na fase de preparação da Montagem Inteligente, as informações coletadas até o momento são repassadas para o MOM, que partir delas, cria um Invólucro Administrativo exclusivo e único para o produto personalizado escolhido pelo cliente.

Este Invólucro Administrativo é abastecido com as informações necessárias para que ele esteja apto orientar seu próprio processo. Fora isso, ele também é abastecido com instruções de montagem que são repassadas para a IHM da estação, afim de que o operador possa executar as operações de montagem. Além disso, o Invólucro Administrativo é abastecido com uma documentação técnica completa, que servirá de suporte para o usuário (cliente) durante sua fase de uso.

Além de gerar o Invólucro Administrativo o MOM também solicita ao CPAS a configuração do layout da linha correspondente ao produto selecionado. Então, após a disposição do layout da linha pelo CPAS se inicia, de fato, o processo de Montagem Inteligente.

Ao longo do da Montagem Inteligente o Invólucro Administrativo irá orientar e coletar dados de execução do seu próprio processo, além disso, ele irá servir de representação virtual gráfica do produto e respectivos componentes únicos, que será atualizada em tempo real conforme o andamento do processo. Os dados coletados pelo Invólucro Administrativo são repassados ao MOM afim de que este realize o monitoramento e gerenciamento do processo de Montagem Inteligente, de forma a comparar os dados de execução do processo com os dados nominais estabelecidos no projeto.

Independentemente da variante de produto e do layout da linha, todos os processos de Montagem Inteligente da CPAS4.0 têm início na estação ST10, dado que esta possui funções preparativas para o processo. As demais estações, com exceção da ST400 e ST410, possuem funções similares entre si.

Para um melhor entendimento das funções das estações do CPAS4.0, serão apresentadas a seguir as etapas do processo executadas por elas:

- ST10: como mencionado anteriormente, a ST10 é a primeira estação do layout de qualquer linha na CPAS4.0 e é onde a Montagem Inteligente de fato começa. As etapas do processo executadas na ST10 são ilustradas pelo diagrama da Figura 49.

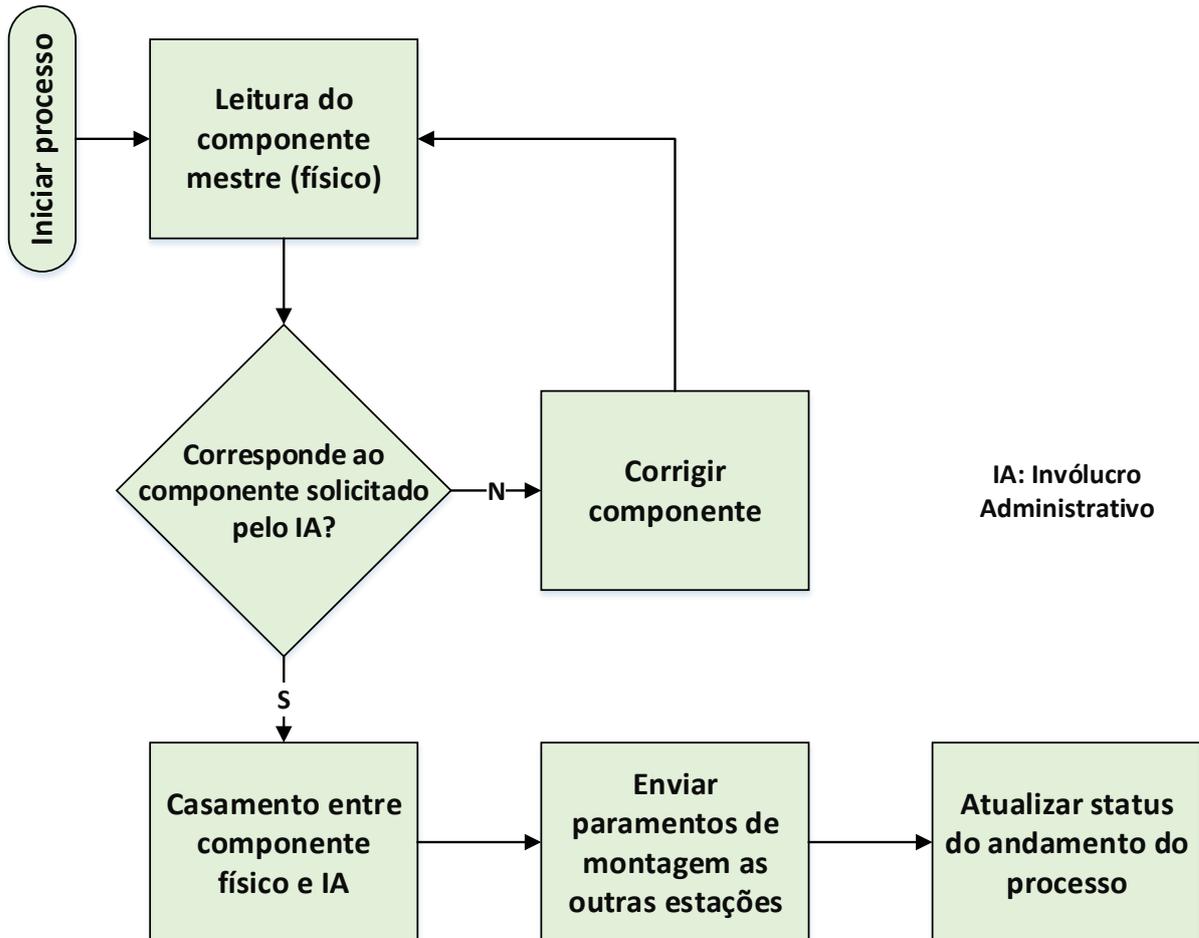


Figura 49: Etapas ST10

Esta estação é equipada com um leitor de frequência de rádio, que faz o reconhecimento do componente mestre (físico) afim de que este possa ser envolvido pelo Invólucro Administrativo (representado por IA no fluxograma) e então, representado no mundo cibernético. Contudo, antes que um componente seja envolvido pelo Invólucro Administrativo, uma verificação deve ser executada, afim de atestar se o componente da estação, de fato, corresponde ao componente solicitado pelo Invólucro Administrativo. Para tal, o dado do componente que foi registrado na estação é repassado ao MOM, que executa a comparação deste com o dado solicitado pelo Invólucro Administrativo. Em caso correspondência positiva, o componente é envolvido pelo Invólucro Administrativo. Do contrário, o MOM paralisa o processo e solicita a substituição do componente que foi incorretamente registrado na estação pelo componente correto.

Ao ser envolvido pelo Invólucro Administrativo, o componente se torna único e exclusivo do produto personalizado. Além do mais, este “casamento” entre

componente mestre físico e Invólucro Administrativo o torna um agente ativo da manufatura.

A ST10, possui outra função importante para o processo, sendo ela responsável por coletar os parâmetros de montagem do produto no Invólucro Administrativo e repassar para as respectivas estações que compõem a linha de montagem.

Como última etapa do fluxograma, a ST10 atualiza no Invólucro Administrativo o status do andamento do processo de montagem.

- ST 20, 30, 50, 60, 70, 80 e 90: as etapas do processo executadas nestas estações são ilustradas pelo diagrama da Figura 50. Estas estações além do leitor de frequência de rádio, também são equipadas com um leitor de códigos bidimensionais.

Quando o componente mestre chega em uma destas estações, ele é reconhecido pelo leitor de frequência de rádio e a estação imediatamente registra no Invólucro Administrativo as atualizações do andamento do processo.

O(s) componente(s) a ser(em) montados(s) nesta estação também são registrados pelo leitor de códigos bidimensionais e, somente em caso de correspondência positiva é(são) envolvido(s) pelo Invólucro Administrativo, que libera instruções dos procedimentos de montagem para a estação. Do contrário, também de maneira similar, o MOM bloqueia o processo e envia um alerta solicitando a substituição do(s) componente(s).

Enquanto o procedimento de montagem é então executado na estação, o MOM monitora os parâmetros de execução e os parâmetros das condições do CPAS, comparando os mesmos com os parâmetros definidos na BoP da Planta. Caso algo não saia como planejado ele solicita a paralização do processo e envia alertas solicitando correções ou até mesmo indicando refugio da montagem caso necessário.

Ao final do processo, a estação atualiza a informação do andamento do processo da Montagem Inteligente no Invólucro Administrativo. Nesta última etapa, caso a ST80 fizer parte do layout do produto 1, ou a ST90 fizer parte do layout do produto 2, a estação registra no Invólucro Administrativo a conclusão do processo de Montagem Inteligente.

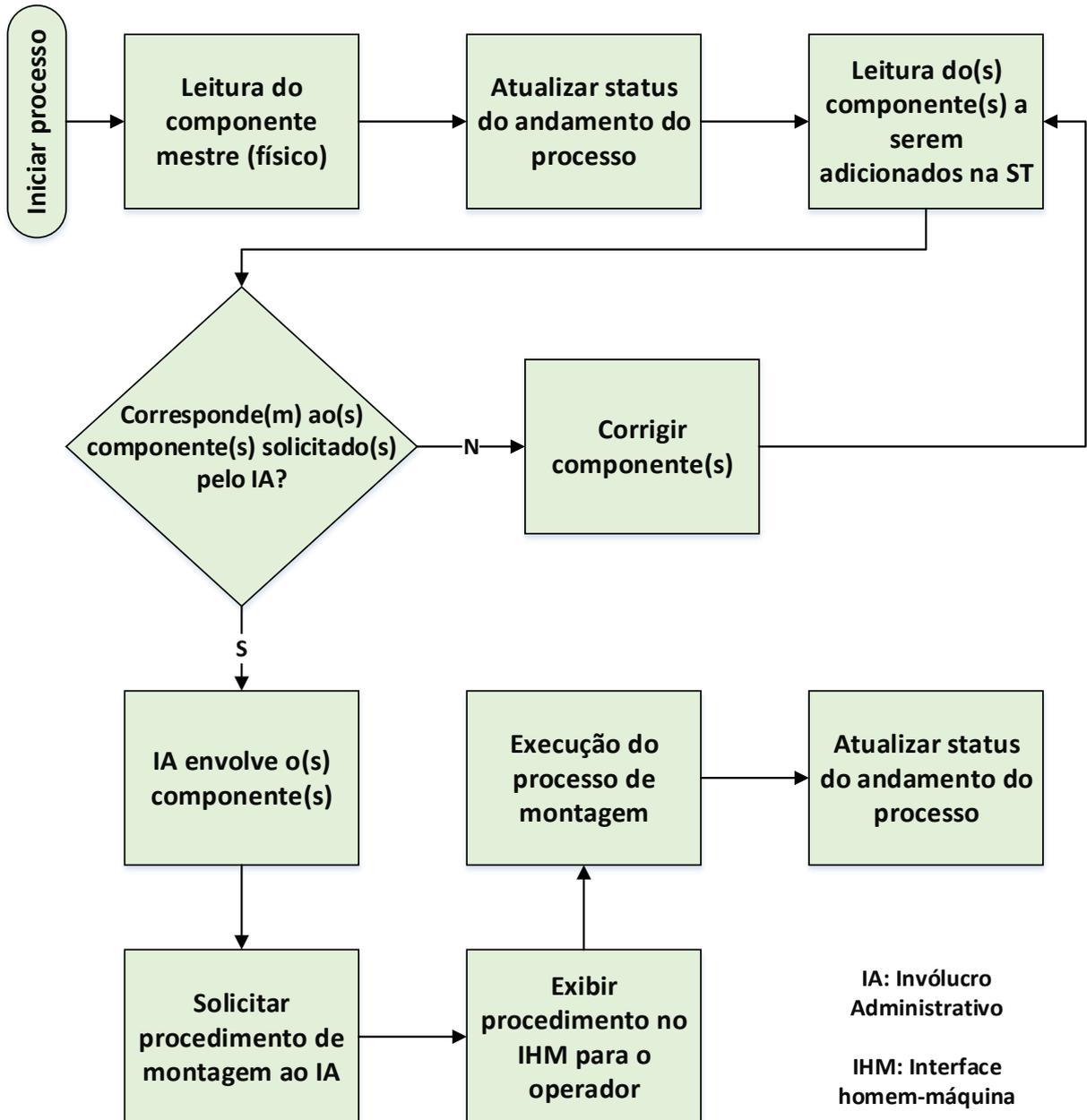


Figura 50: Etapas ST20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90

- ST410: Esta é a única estação da linha onde são executados processos de sub-montagem e também a única que não recebe o componente mestre.

Para cada classe de família de produto são montados diferentes subconjuntos. Como especificado nos Tópicos 4.4.2, 4.4.3 e 4.4.4, o carrinho possui quatro subconjuntos formados por roda e pneu. O triciclo possui dois subconjuntos formados por roda traseira e pneu; e um subconjunto formado por roda dianteira e pneu. Já a moto, possui dois subconjuntos formados por aro e pneu.

A ST410 é equipada apenas com leitor de códigos bidimensionais e seu processo se inicia logo após a conclusão das etapas da ST10. As etapas executadas nesta estação são ilustradas pelo diagrama da Figura 51.

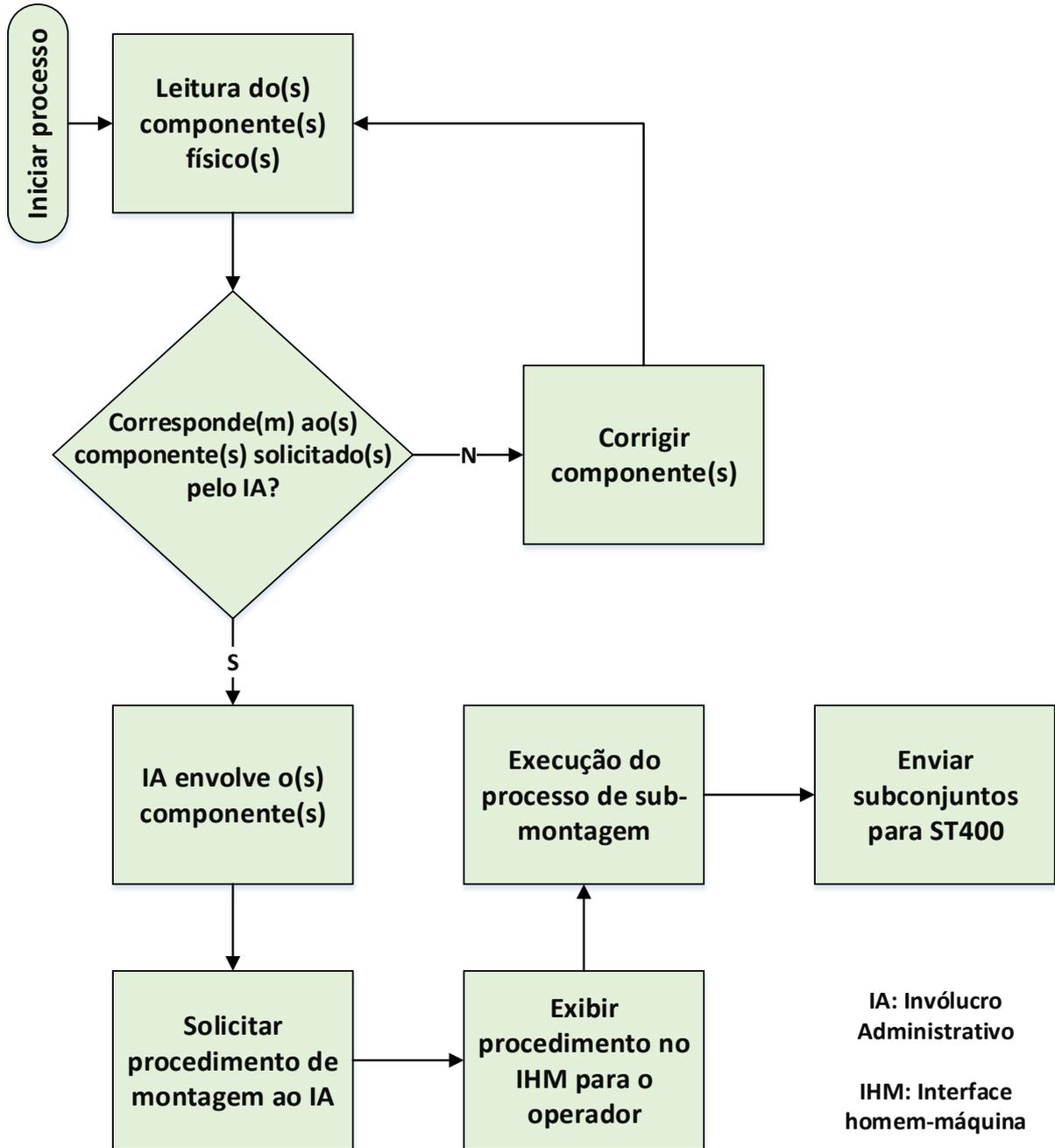


Figura 51: Etapas ST410

Os componentes a serem montados para formar os subconjuntos são registrados pelo leitor de códigos 2D e de maneira similar às outras estações, suas correspondências são verificadas pelo MOM. Em caso a correspondência for positiva, são envolvidos pelo Invólucro Administrativo e este libera as instruções

dos procedimentos de montagem para estação. Caso a correspondência for negativa, o MOM enviar alertas solicitando a(s) devida(s) correção(ões).

Enquanto as sub-montagens são realizadas na estação, o MOM monitora os parâmetros de execução da montagem e os parâmetros das condições do CPAS, comparando os mesmos com os parâmetros definidos na BoP da Planta. Caso algo não saia como planejado ele solicita a paralização do processo e envia alertas solicitando correções ou até mesmo indicando refugo da(s) sub-montagem(ns).

Apesar de serem envolvidos pelo Invólucro Administrativo, por se tratarem de subconjuntos que ainda não foram adicionados ao componente mestre, após a conclusão da sub-montagem, a ST410 ainda não solicita atualização do status do andamento do processo e nem atualização da representação virtual do produto.

Ao final do processo, os subconjuntos com montagem aprovada são enviados para a estação ST400.

- ST400: esta estação é equipada apenas com leitor de frequência de rádio e as etapas nela executadas são ilustradas pelo diagrama da Figura 52.

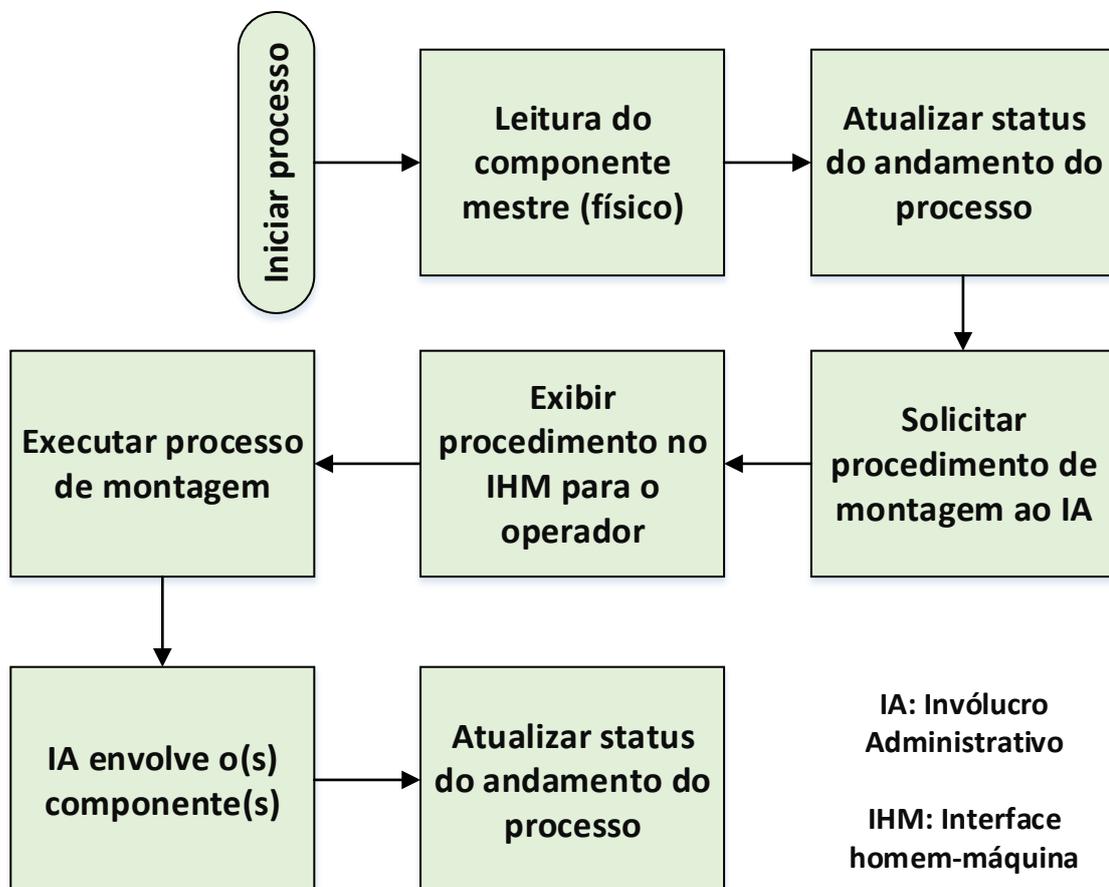


Figura 52: Etapas ST400

Primeiramente, a estação ST400 recebe os subconjuntos aprovados que foram montados na estação ST410. Na sequência, assim que o componente mestre chega na estação ele é reconhecido pelo leitor de frequência de rádio, em seguida a estação registra no Invólucro Administrativo as atualizações do andamento do processo e solicita a ele as instruções dos procedimentos de montagem.

A estação solicita as etapas de montagem ao Invólucro Administrativo e durante a execução da montagem, o MOM monitora os parâmetros de execução e os parâmetros das condições do CPAS, comparando-os com os parâmetros definidos na BoP da Planta. Caso algo não saia como planejado ele solicita a paralização do processo e envia alertas solicitando correções ou até mesmo indicando refugio da montagem.

Ao final do processo, a estação atualiza a informação do andamento do processo da Montagem Inteligente no Invólucro Administrativo. Nesta etapa final, caso a ST400 faça parte do layout do produto 3 (última estação da linha), ela registra no Invólucro Administrativo a conclusão do processo de Montagem Inteligente.

4.5 Verificação de alterações necessárias

Somente durante a execução do teste do modelo, foi possível verificar e perceber a necessidade de alterações do modelo proposto. As modificações necessárias se trataram de acréscimo ou exclusão de itens das classes do diagrama UML que se fizeram necessários. Esta quinta etapa do método foi repetida até que o modelo proposto se tornasse uma solução satisfatória para o problema e atendesse ao objetivo proposto.

Apesar das alterações realizadas durante esta etapa, não foram necessárias grandes alterações na ideia conceitual da proposta do modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente, sendo mantidas as abordagens, conceitos e estruturas descritos no Tópico 4.3.

5 Resultados

O desenvolvimento do método elaborado para este trabalho, resultou na proposta de um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS e na realização de um teste, cujo modelo foi aplicado em um processo de montagem fictício. Ambos os resultados serão individualmente apresentados a seguir.

5.1 Modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente

Como principal contribuição desta dissertação, será apresentado neste tópico a proposta de um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS.

Esta proposta de modelo se trata de um diagrama de classes UML. Dada a complexidade do diagrama, visando uma melhor compreensão do mesmo, primeiramente será apresentada uma versão compacta do diagrama, contendo somente as classes de seus pacotes.

O diagrama compacto²⁴ ilustrado pela Figura 53, apresenta a integração entre quatro pacotes, são eles:

- I. Externos;
- II. PLM & ERP;
- III. Chão-de-fábrica;
- IV. Gerenciamento da Montagem Inteligente.

Como o próprio nome sugere, o pacote Externos faz referência aos elementos participantes do processo externos a planta. O pacote PLM & ERP, abrange não só o desenvolvimento do produto e planejamento do processo (PLM), mas também planejamento de produção e de recursos do CPAS (ERP).

Já o pacote Chão-de-fábrica, refere-se aos recursos de manufatura e ao local onde ocorrem os processos de Montagem Inteligente. O núcleo deste modelo é o pacote Gerenciamento da Montagem Inteligente, sendo este responsável pela a gestão e monitoramento da execução dos processos, com sistema um baseado em MOM.

²⁴ Diagrama compacto: não apresenta nem atributos, nem métodos das classes.

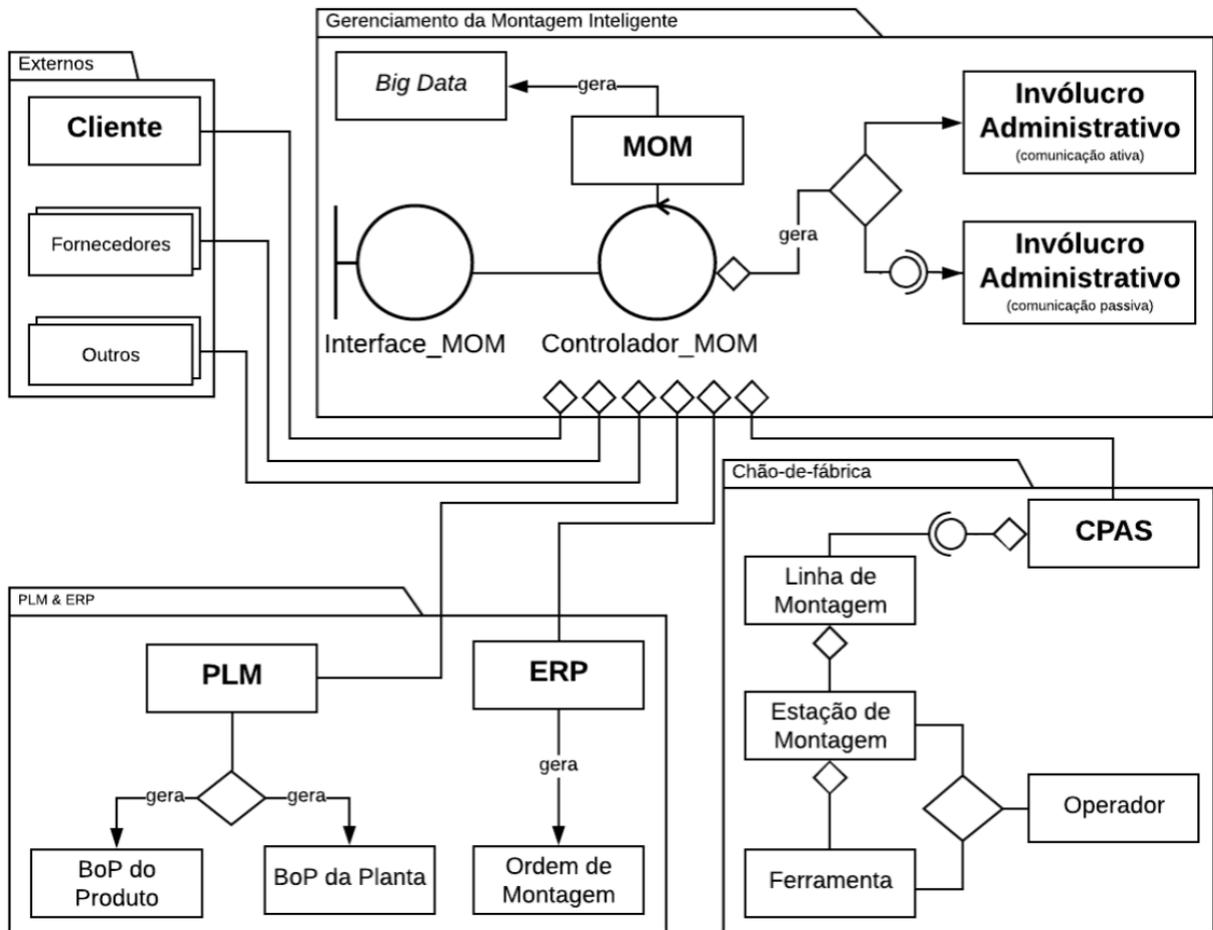


Figura 53: Diagrama compacto do Modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS

As classes **Cliente**, **Fornecedores**, **Outros**, **PLM**, **ERP**, **CPAS** e **Invólucro Administrativo** (de comunicação ativa e passiva) são as classes de hierarquia mais alta presentes neste diagrama. Contudo, as classes destacadas em negrito (**Cliente**, **ERP**, **PLM**, **CPAS** e ambos **Invólucros Administrativos**) serão mais amplamente exploradas no diagrama, dada a relevância que possuem dentro do objetivo proposto nesta dissertação.

Estas classes de hierarquia mais alta são centralmente vinculadas ao **MOM** por intermédio do **Controlador_MOM**. O **Controlador_MOM** irá possibilitar a interconexão entre as classes a ele vinculadas, de maneira que estas classes o abasteçam com informações relevantes para que ele esteja apto a executar sua função. Além do **Controlador_MOM**, o **MOM** também possui uma **Interface_MOM**, que como o próprio nome sugere, irá servir como interface para que usuários autorizados possam visualizar dados do processo de Montagem Inteligente e executar tomar decisões.

Compreendido o diagrama compacto, serão descritos nos tópicos a seguir cada um dos quatro pacotes do modelo de forma mais detalhada, considerando os atributos e métodos de suas classes. Devido a seu tamanho e complexidade, o diagrama de classe UML completo do modelo proposto se encontra nos anexos da dissertação.

5.1.1 Externos

Como ilustra a Figura 54, dentro do pacote Externos se encontram as seguintes classes: Clientes, Fornecedores e Outros. Ambas as classes Fornecedores e Outros estão representadas de forma genérica (sem atributos e/ou métodos), pois dependem da organização do processo e da estrutura de cada empresa.

O modelo proposto, sugere que a gestão das informações relacionadas a Montagem Inteligente tenha origem na configuração do produto personalizado selecionado pelo cliente. A classe Cliente contém uma identificação única (*ID do cliente*) no sistema, isto permitirá que o cliente selecione a configuração do seu produto personalizado (*selecionar_Configuracao do produto()*) e que essa escolha esteja atrelada a sua identificação.

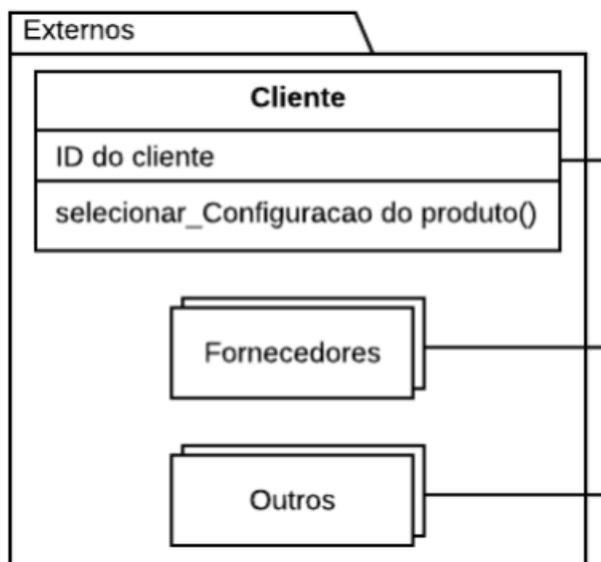


Figura 54: Pacote Externos expandido

5.1.2 PLM & ERP

O pacote PLM & ERP é ilustrado pela Figura 55, nele estão contidas as classes PLM, BoP do Produto e BoP da Planta; e também as classes ERP e Ordem de Montagem.

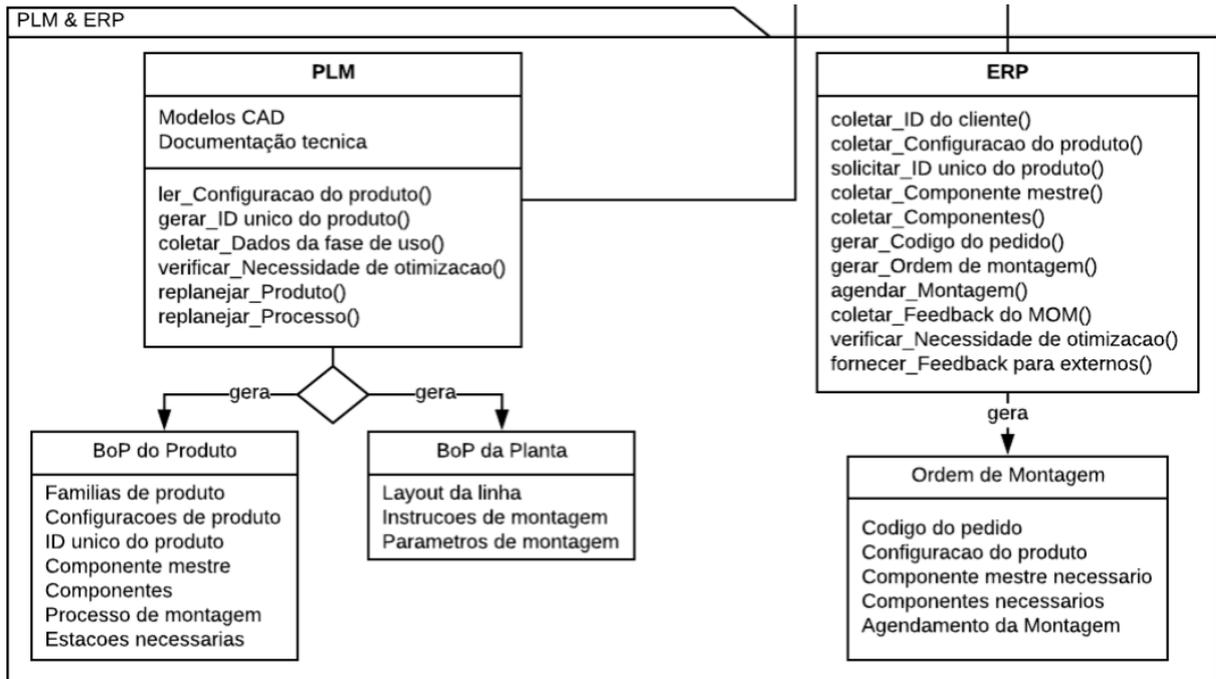


Figura 55: Pacote PLM & ERP expandido

Como mencionado anteriormente, no modelo proposto neste trabalho, a gestão de informações se inicia com a escolha do produto personalizado feita pelo cliente. Então, a partir desta escolha, são desencadeados processos nos domínios das classes PLM e ERP presentes neste pacote. No processo de gestão, o ERP tem a função de coletar a identificação do cliente (*coletar_ID do cliente()*), bem como coletar a configuração do produto personalizado selecionada por ele (*coletar_Configuracao do produto()*). A partir destas informações, a classe ERP solicita à classe PLM uma identificação única para o produto personalizado do cliente (*solicitar_ID unico do produto()*).

Com as informações do ERP, o PLM identifica na classe BoP do Produto gerada por ele, verifica qual a família do produto referente à configuração do produto personalizado selecionado pelo cliente (*ler_Configuracao do produto()*) e, com essa informação, o PLM gera uma identificação única para este produto personalizado (*gerar_ID unico do produto()*).

Além de identificar a configuração do produto personalizado do cliente e gerar uma identificação única para o mesmo, a classe PLM tem sobre seus domínios as classes BoP do Produto e BoP do Planta, ambas geradas por ele. Sugere-se que a classe BoP do Produto contenha pelo menos as famílias de uma classe de produto, as possíveis configurações do produto, identificação única, componente mestre e demais componentes de cada configuração de produto, bem como os processos e estações necessárias para a Montagem Inteligente. Em relação a BoP da Planta, sugere-se que

esta contenha ao menos o layout da linha necessária para a montagem de das configurações de produto, suas respectivas instruções de montagem e também os parâmetros de montagem.

Após a conclusão do processo de montagem no chão-de-fábrica a classe PLM deve coletar dados durante a fase de uso do produto montado (*coletar_Dados da fase de uso()*), verificar necessidade de otimizar a família do produto (*verificar_Necessidade de otimizacao()*) e, por conseguinte, também replanejá-lo (*replanejar_Produto()*) se necessário. Na base de dados PLM devem estar contidos os modelos geométricos CAD do produto e seus respectivos componentes individuais e documentação técnica necessária para as famílias de produto.

Além da identificação única, o ERP solicita ao PLM que ele colete da classe BoP do Produto o componente mestre (*coletar_Componente mestre()*) e os demais componentes (*coletar_Componentes()*) necessários para a montagem do produto personalizado. Obtidas estas informações, o ERP está apto a gerar um código para o pedido do produto personalizado do cliente (*gerar_Codigo do pedido()*), depois gerar a uma ordem de montagem para este pedido (*gerar_Ordem de montagem()*) e por último agendar o seu processo de Montagem Inteligente (*agendar_Montagem()*).

Sob os domínios do ERP, está a classe Ordem de Montagem (gerada por ele), que deve conter minimamente o código do pedido, configuração do produto personalizado, seu respectivo componente mestre e demais componentes que o constituem, bem como o agendamento do seu processo de montagem. Após a execução do processo de Montagem Inteligente, o ERP deve coletar o feedback do MOM em relação ao processo executado (*coletar_Feedback do MOM()*), verificar necessidade de otimização do processo (*verificar_Necessidade de otimização()*) e também fornecer feedback para as classes do pacote externos (*fornecer_Feedback para externos()*).

5.1.3 Chão-de-fábrica

O pacote Chão-de-fábrica, ilustrado pela Figura 56, contém as classes CPAS, Linha de Montagem, Estação de Montagem, Ferramenta e Operador. As classes presentes neste pacote representam os recursos de manufatura de uma planta como recomendado na literatura.

Neste pacote, existe uma interface que conecta as demais classes a classe CPAS, ela representa o *middleware* que irá possibilitar a comunicação entre os sistemas heterogêneos que compõem o CPAS, como sugerido na literatura.

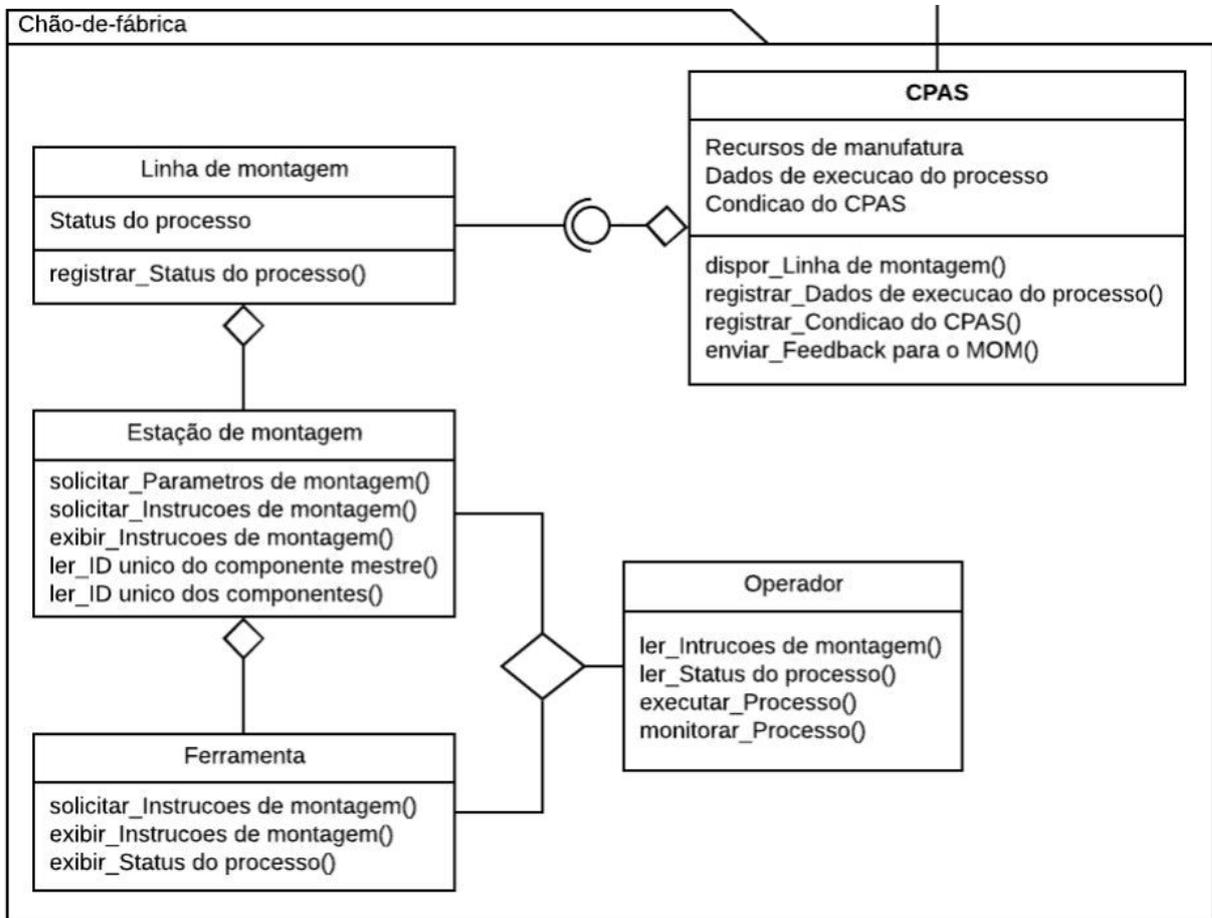


Figura 56: Pacote Chão-de-fábrica expandido

Neste pacote, existe uma hierarquia, na qual, Linhas de montagem são formadas por Estações de montagem e as Estações de montagem podem possuir Ferramentas. Já o Operador pode executar processos de montagem diretamente em uma Estação ou por intermédio de uma Ferramenta. Ambas estas classes constituem os recursos de manufatura que formam o CPAS.

Dentro desta hierarquia, a classe CPAS (de nível hierárquico mais alto) tem a função de organizar a disposição do layout da linha de montagem de acordo com o produto que será montado (*dispor_Linha de montagem()*).

A classe Linha de Montagem, tem a função de registrar o andamento do processo (*registrar_Status do processo()*) em tempo real à medida que ele é executado ao longo de cada estação. Conseqüentemente, esta informação fica contida nesta classe.

A Estação de Montagem, solicita ao Invólucro Administrativo os parâmetros para execução da Montagem Inteligente (*solicitar_Parametros de montagem()*), as instruções de montagem (*solicitar_Instrucoes de montagem()*) referente ao produto a ser montado e exibir essas instruções para o Operador por meio de uma IHM (*exibir_Instrucoes de montagem()*). Além disso, as Estações de Montagem devem ser equipadas com leitores que possam identificar o componente mestre assim que ele chega nas estações (*ler_ID único do componente mestre()*), bem como identificar cada componente (*ler_ID único dos componentes()*) que é adicionado ao componente mestre em cada etapa do processo de Montagem Inteligente.

De forma similar à Estação de Montagem, a classe Ferramenta também pode solicitar parâmetros de execução do processo de montagem ao Invólucro Administrativo (*solicitar_Parametros de montagem()*). Dependendo do tipo de ferramenta, ela pode solicitar instruções de montagem (*solicitar_Instrucoes de montagem()*) e exibi-las ao Operador por meio de uma IHM (*exibir_Instrucoes de montagem()*) Além disso esta classe também podem indicar o andamento do processo (*exibir_Status do processo()*).

A classe Operador tem uma particularidade, pois ela pode se associar tanto a classe Estação de montagem, quando a classe Ferramenta. Com isto, o humano pode:

- Ler os parâmetros de montagem (*ler_Parametros de montagem()*), instruções de montagem (*ler_Instrucoes de montagem()*), e andamento do processo (*ler_Status do processo()*);
- Executar o processo de montagem (*executar_Processo()*) tanto diretamente da estação de montagem, quanto por intermédio de alguma ferramenta ou dispositivo, em caso de procedimentos manuais;
- Monitorar o processo (*monitorar_Processo()*), dependendo das competências da Ferramenta utilizada.

Como mencionado anteriormente, a interconexão entre as demais classes deste pacote constitui a classe CPAS, que além da função já mencionada acima, esta classe registra todos os dados de processos de montagem nela executados (*registrar_Dados de execucao do processo()*), registra a condição de cada recurso a ela conectado (*registrar_Condicao do CPAS()*) e além disso, envia dados e informações como feedback para a classe MOM (*enviar_Feedback para o MOM()*), que será abordado no próximo tópico. Como consequência, a classe CPAS mantém em si dados

relacionados aos recursos de manufatura, execução do processo e as condições de todos os recursos que constituem o CPAS.

5.1.4 Gerenciamento da Montagem Inteligente

O elemento central do modelo proposto no diagrama de classes é o pacote Gerenciamento da Montagem Inteligente, ilustrado pela Figura 57. Este pacote é constituído pelas classes MOM, Invólucros Administrativos de comunicação ativa e passiva, *Big Data* e pelos elementos Controlador_MOM e Interface_MOM.

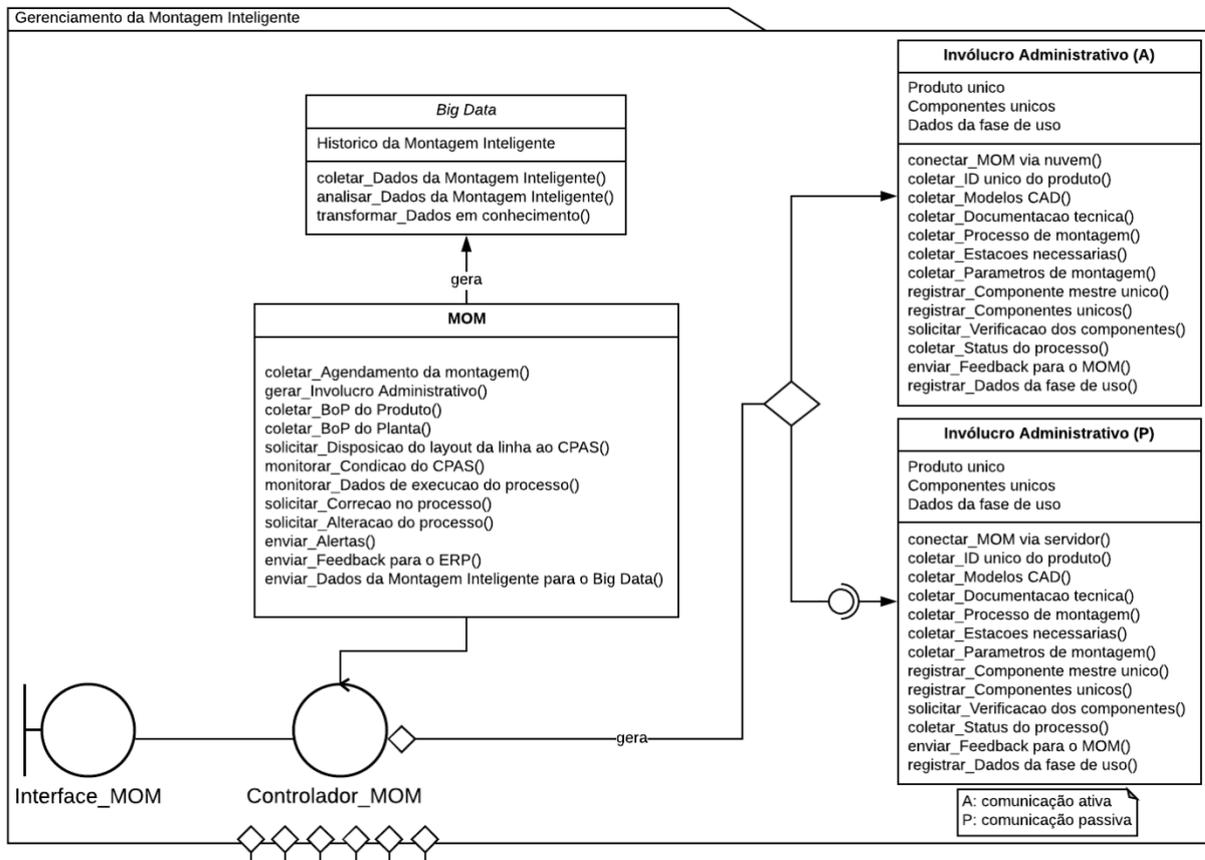


Figura 57: Pacote Montagem Inteligente expandido

Como mencionado no início deste tópico, o Controlador_MOM serve como elemento de interconexão entre as demais classes do modelo e representa tanto uma rede interna de servidores como uma nuvem, e suas competências de controle devem estar associadas a tecnologia de *cloud computing* da companhia e será responsável pelo controle de fluxo (mineração) de informações e dos elementos conectados ao MOM. O Controlador_MOM está atrelado a uma Interface_MOM, que como o próprio nome sugere é uma interface para que usuários do sistema de gestão - desde que autorizadas - possam visualizar dados e informações do banco de dados do MOM e

do *Big Data* que será gerado por ele. Além disso, esta interface também viabiliza acompanhar e monitorar o processo de montagem e tomadas de decisão em tempo real. Esta interface pode ser muito útil tanto nos níveis corporativos mais altos da planta para tomadas de decisão estratégicas para seus negócios, quanto no chão de fábrica caso haja necessidade de se interferir no processo de alguma maneira.

A classe MOM executa o papel principal do modelo proposto neste diagrama, sendo de fato o elemento responsável pela gestão das informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente. Em se tratando da gestão do processo, esta classe é responsável por coletar o agendamento da montagem na Ordem de produção do ERP (*coletar_Agendamento da montagem()*) e com isto, criar um invólucro administrativo para o produto a ser montado (*gerar_Involucro Administrativo()*) de comunicação ativa ou passiva (depende das competências de comunicação do produto a ser montado). Em seguida, para a Montagem Inteligente do produto agendado, o MOM deve solicitar a BoP do Produto (*coletar_BoP do Produto()*) e respectiva BoP da Planta ao PLM (*coletar_BoP do Planta()*). Com estas informações o MOM pode solicitar ao CPAS a disposição do *layout* da linha referente ao produto a ser montado (*solicitar_Disposicao do layout da linha()*).

Existem duas classes Invólucro Administrativo, uma de comunicação ativa (A) e outra de comunicação passiva (P). A única diferença entre elas é o método de se vincularem ao MOM de duas maneiras. No caso de comunicação passiva o Invólucro Administrativo (P) necessitará de uma interface (simbolizada no modelo) que deve ser fornecida pelo setor de TI da companhia, para que ele possa ser interconectado ao MOM (*conectar_MOM via servidor()*). Já no caso de comunicação ativa, o Invólucro Administrativo (A) poderá ser diretamente interconectado ao MOM via nuvem (*conectar_MOM via nuvem()*).

Ambas as classes Invólucro Administrativo possuem a função de intermediar as classes MOM e CPAS, integrando o produto a ser montado (físico) ao mundo cibernético e coletando dados do CPAS para que o processo de Montagem Inteligente possa ser gerenciado e monitorado pelo MOM. Para tal, o Invólucro administrativo deve coletar no MOM a identificação única do produto (*coletar_ID unico do produto()*), modelos geométricos CAD (*coletar_Modelos CAD()*), documentação técnica (*coletar_Documentacao tecnica()*), processo de montagem (*coletar_Processo de montagem()*) e estações necessárias (*coletar_Estacoes necessarias()*). Além disso, o Invólucro Administrativo também deve coletar no MOM os parâmetros de montagem necessários para a execução do processo, para repassar as respectivas estações de

montagem (*coletar_Parametros de montagem()*). Adquiridos estes dados e informações, o Invólucro Administrativo estará apto para orientar o processo de Montagem Inteligente do produto que irá envolver, isto tornará este produto um agente ativo na manufatura.

Durante o processo de Montagem inteligente, o Invólucro Administrativo tem a função de registrar em si tanto o componente mestre único (*registrar_Componente mestre unico()*), quanto os demais componentes (*registrar_Componentes unicos()*) lidos pelos identificadores da classe Estação de montagem. Contudo, para que os componentes sejam de fato envolvidos pelo Invólucro Administrativo, ele deve solicitar a classe MOM que verifique se o componente físico nele registrado condiz com o componente especificado na BoP do Produto (*solicitar_Verificacao dos componentes()*).

Uma outra função do Invólucro administrativo, é coletar da classe Linha de Montagem o andamento do processo (*coletar_Status do processo()*) e repassar estes dados em forma de feedback para o MOM (*enviar_Feedback para o MOM()*). Finalizado o processo de montagem, o Invólucro Administrativo deve estar apto a coletar os dados do produto, que foram gerados pelo cliente durante a fase de uso (*registrar_Dados da fase de uso()*), para que sejam repassados ao PLM. O Invólucro Administrativo contém em si dados sobre o produto único que foi montado, bem como seus componentes únicos e dados da fase de uso.

A medida que o Invólucro Administrativo executa sua função durante o processo de Montagem Inteligente, a classe MOM executa funções de gestão. Monitorando a condição dos recursos que compõe o CPAS (*monitorar_Condicao do CPAS()*) e os dados de execução do processo (*monitorar_Dados de execucao do processo()*), de maneira a comparar os dados coletados no Chão-de-fábrica com os dados nominais estabelecidos na BoP do Produto e na BoP da Planta. Caso necessário o MOM deve solicitar correções no processo (*solicitar_Correcao no processo()*), solicitar a alteração do processo ou da linha quando a montagem de um novo produto for escalada (*solicitar_Alteracao do processo()*) e, além disso, o MOM deve para enviar alertas a pessoas e/ou setores pré-estabelecidos em caso de emergência (*enviar_Alertas()*).

Para todo processo de montagem gerenciado pelo MOM, um feedback de cada um deles é enviado para o ERP (*enviar_Feedback para o ERP()*). Além disso, todas as informações relacionadas aos processos de montagem gerenciados pelo MOM devem ser enviadas ao *Big Data* (*enviar_Dados da Montagem Intelingete para o Big Data()*).

No *Big Data* gerado pelo MOM, são coletados os dados relacionados aos processos de Montagem Inteligente executados na planta (*coletar_Dados da Montagem Inteligente()*). Posteriormente, deve ser feita uma análise com estes dados fornecidos pelo MOM (*analisar_Dados da Montagem Inteligente()*) e dessa forma, associado ao MOM, o *Big Data* favorece a transformação de dados e informações em conhecimento para a companhia (*transformar_Dados em conhecimento()*). Assim, fica armazenado neste *Big Data* o Histórico dos processos de Montagem Inteligente executados.

5.2 Teste do modelo proposto

Para o teste do modelo proposto, foi considerado que um cliente N escolheu a variante da classe do produto 2, ilustrada pela Figura 58.

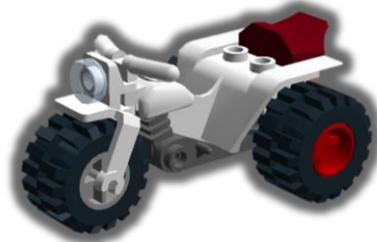


Figura 58: Produto personalizado escolhido pelo cliente N

Após a preparação do processo e o agendamento da montagem deste produto, o MOM gerou um Invólucro Administrativo, ilustrado pela Figura 59.

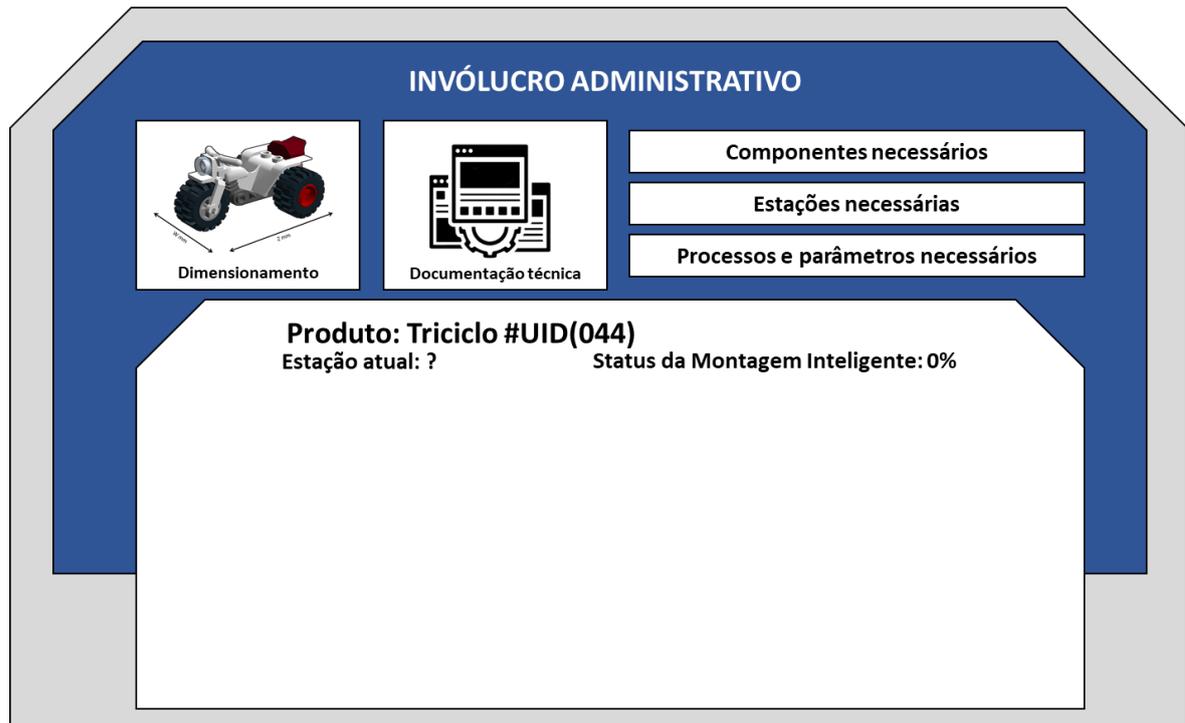


Figura 59: Invólucro Administrativo do produto personalizado

O Invólucro Administrativo gerado contém os seguintes elementos:

- Dimensões do produto, bem como o modelo geométrico de seus componentes;
- Documentação técnica;
- Componentes necessários para a montagem desta variante do produto;
- Estações que serão utilizadas no processo de Montagem Inteligente;
- Etapas dos processos de montagem e respectivos parâmetros.

Além disso, é possível notar na Figura 59, que o Invólucro Administrativo porta o nome da família do produto (Triciclo) e a identificação única de sua variante [#UID(044)]. O código “#UID” é a abreviação do termo em inglês para identificação única (*Unique Identification*) e o número entre parênteses (044) representa o número de identificação única deste produto.

Também é possível notar outras duas variáveis no Invólucro Administrativo, sendo elas Estação atual e Status da Montagem Inteligente. Estação atual se refere a estação em que o componente mestre se encontra no processo de Montagem Inteligente. Como o próprio nome sugere, Status da Montagem Inteligente se refere ao andamento do processo, que é representado em porcentagem.

Antes do início do processo, o MOM solicita ao CPAS a disposição do layout equivalente ao produto que será montado, como ilustra a Figura 60.

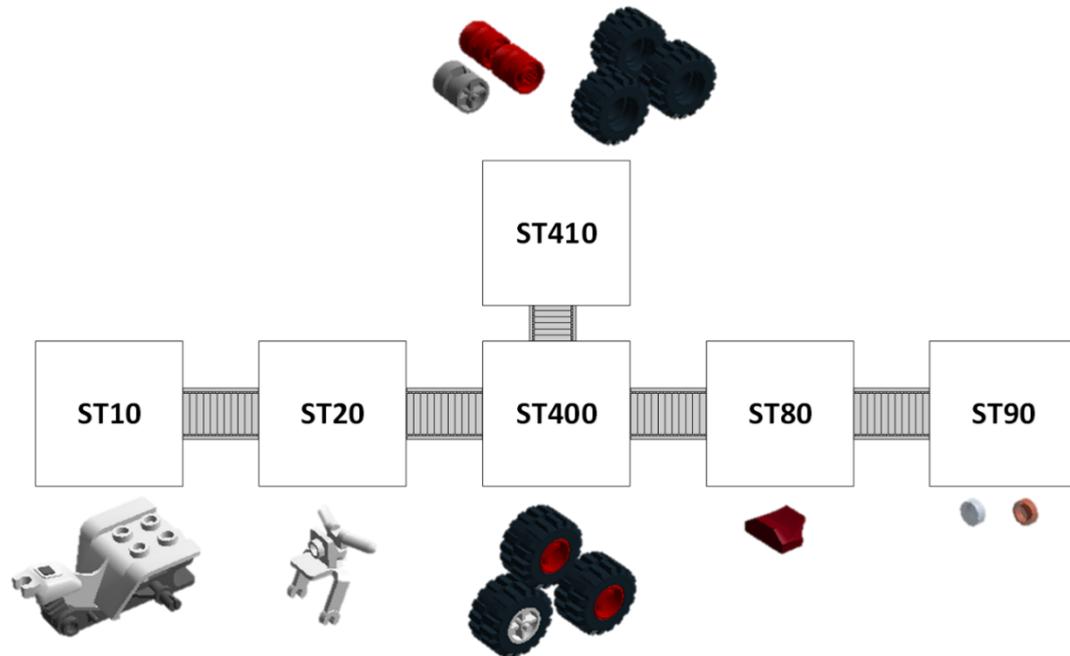


Figura 60: Layout da linha de montagem

Além da configuração do layout da linha, a Figura 59 indica quais componentes serão montados em cada estação.

Com o layout da linha disposto no CPAS, o processo de Montagem Inteligente se dá início na estação ST10. Após a execução de suas etapas, se dá o “casamento” entre componente mestre físico e Invólucro Administrativo, como ilustrado na Figura 61. Com isto, o componente mestre se torna agente ativo na manufatura.



Figura 61: Adição do chassi ao Invólucro Administrativo

Nota-se na Figura 61, a atualização do campo Estação atual e também do campo Status da Montagem Inteligente, que agora exibe o modelo geométrico virtual da montagem do produto até o momento. Além disso, o Invólucro Administrativo exibe não só o componente mestre envolvido, mas também outras informações de identificação úteis para rastreabilidade do componente caso necessário. São elas:

- Tipo de *tag*: no caso do componente mestre deste processo um RFID
- Número de classe da peça²⁵: representado pela abreviação do termo em inglês para número da peça (PN - *Part Number*) seguido pelo código (PN: 76040 - 1), cujo número após o traço “-” (1) indica a cor do componente;
- Identificação única da classe do componente (#UID0001).

Ao chegar na segunda estação (ST20), o componente guidão com suspensão é montado no componente mestre. Após a conclusão de suas etapas, a estação registra a atualização do status do andamento do processo, resultando no Invólucro Administrativo ilustrado pela Figura 62.

²⁵ Os códigos com números de todas as classes de peças e suas respectivas cores se encontram no anexo da dissertação.



Figura 62: Adição do guidão com suspensão ao Invólucro Administrativo

No invólucro administrativo, nota-se a atualização dos campos Estação atual e Status da Montagem Inteligente. O componente que foi envolvido pelo Invólucro Administrativo e montado no componente mestre está representado de forma estrutural. Além disso, de maneira similar ao componente mestre, as informações de identificação do guidão com suspensão também são exibidas. Por não se tratar do componente mestre, a *tag* deste novo componente é um *QR-Code*, como lustra a Figura 62.

Operando paralelamente a ST20, na ST410 são montados os três subconjuntos solicitados pelo Invólucro Administrativo. Em seguida, estes são enviados a estação ST400 para que sejam adicionados ao conjunto resultante do processo de montagem da ST20. Concluídas as etapas da ST410 e ST400 respectivamente, a ST400 registra a atualização do status do andamento do processo, resultando no Invólucro Administrativo ilustrado pela Figura 63.

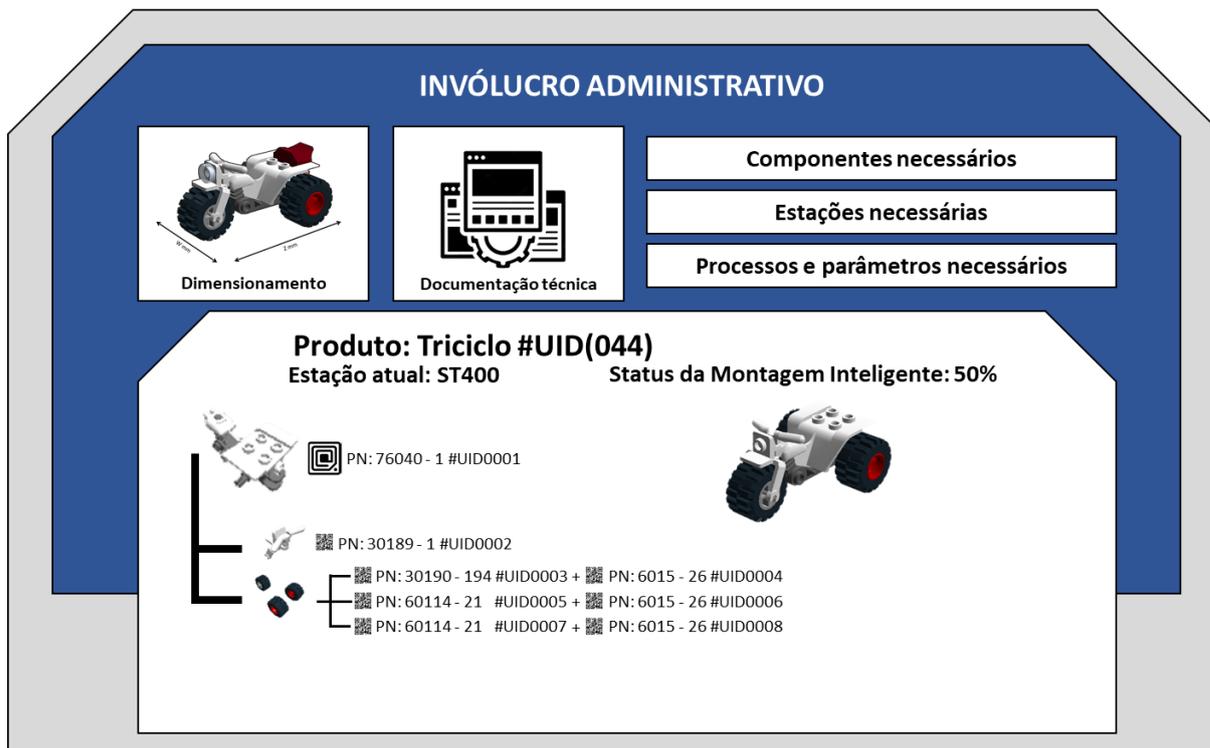


Figura 63: Adição dos subconjuntos roda + pneu no Invólucro Administrativo

Nota-se que também houve a atualização nos campos Estação atual e Status da Montagem Inteligente. A representação dos subconjuntos no Invólucro Administrativo é um pouco diferente dos demais componentes. Sendo os subconjuntos representados pela identificação do componente roda, seguido pelo caractere “+” (representando a união entre os componentes) e por último a identificação do pneu.

Em seguida na ST80, o *spoiler* traseiro é adicionado ao conjunto resultante da estação ST400. De maneira similar as estações anteriores, após a conclusão das etapas a ST80 registra a atualização do status do andamento do processo, resultando no Invólucro Administrativo ilustrado pela Figura 64.

É possível perceber no Invólucro Administrativo que, os campos Estação atual e Status da Montagem Inteligente foram atualizados, bem como a representação dos componentes montados.

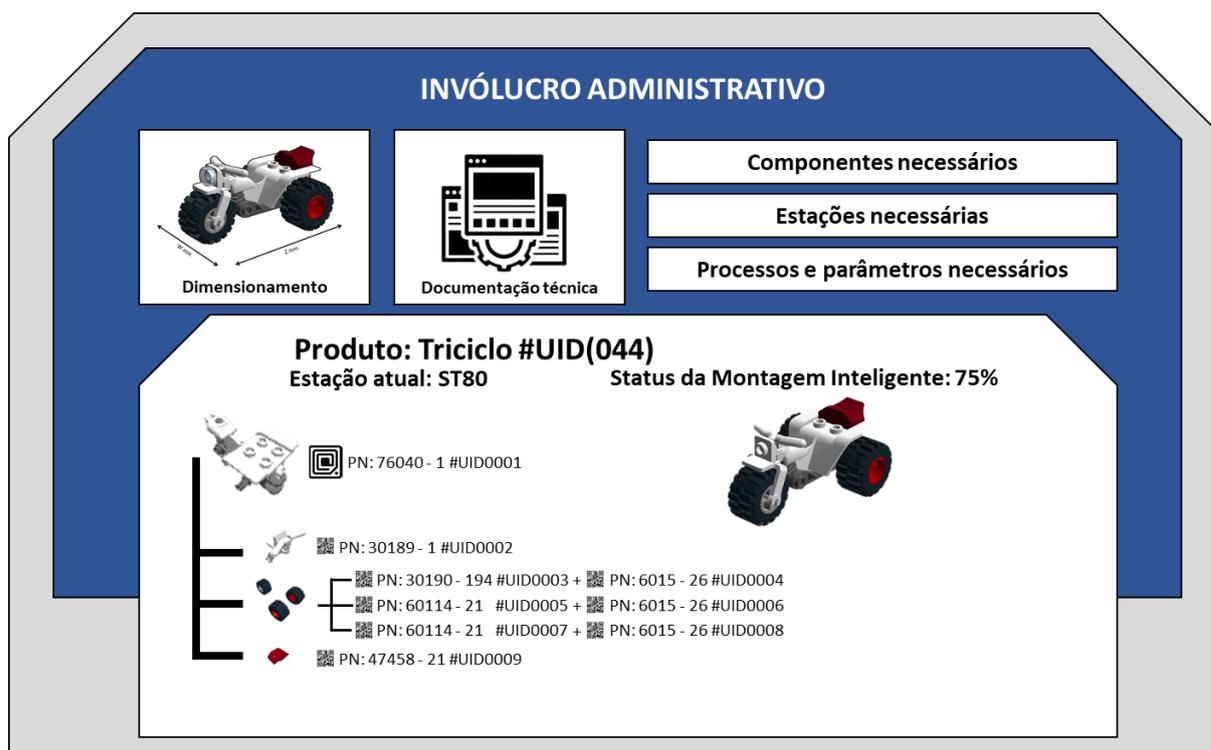


Figura 64: Adição do spoiler traseiro ao Invólucro Administrativo

Por último, na estação ST90 são adicionados faróis (últimos componentes) ao conjunto resultante da estação ST80, finalizando a montagem do triciclo. Então a ST90 registra a conclusão do processo de montagem e a finalização do produto, resultando no Invólucro Administrativo ilustrado pela Figura 65.

Nesta estação, ocorre a última atualização do Invólucro Administrativo durante o processo de montagem. Isto pode ser observado com a indicação de 100% no campo Status da montagem Inteligente da Figura 65. Além disso estão presentes no invólucro Administrativo as representações e identificações de todos os componentes utilizados na montagem.

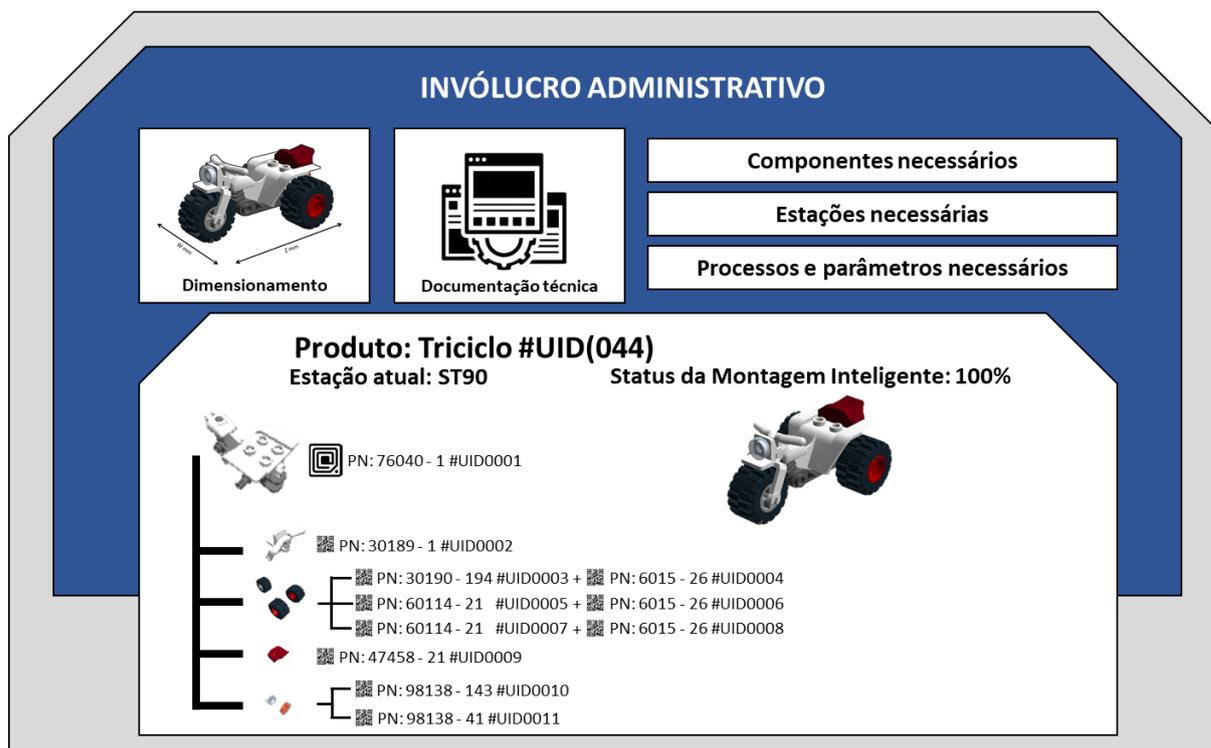


Figura 65: Adição dos faróis ao Invólucro Administrativo e conclusão do processo

6 Conclusão

A iniciativa *Indústria 4.0* e a transformação digital estão revolucionando a indústria pela quarta vez e desencadeando o surgimento de novas tecnologias baseada em Sistemas Físico-Cibernéticos. Como consequência disso, mais especificamente no âmbito dos processos de montagem, surgiram os CPAS, que têm como objetivo viabilizar a abordagem de Montagem Inteligente, bem como atender à atual demanda por produção personalizada e também gerar maior valor agregado ao produto final.

Como toda nova abordagem, apesar das vantagens e benefícios oferecidos pela Montagem Inteligente, ainda existem desafios e limitações a serem superadas para de fato estabelecer-la. Na literatura, destacam-se os desafios: limitação dos sistemas de gerenciamento tradicionais e falta de padronização.

Mediante ao exposto, visando auxiliar com o desenvolvimento da Montagem Inteligente, foi elaborada nesta dissertação a proposta de um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS. Esta proposta do modelo foi baseada nas abordagens Gerenciamento de Operações da Manufatura (MOM) e Invólucro Administrativo, resultando em um diagrama de classes UML com uma estrutura modular dividida em pacotes.

Devido ao objetivo da dissertação, o foco do desenvolvimento do modelo foi dado aos pacotes Gerenciamento da Montagem Inteligente e PLM & ERP. Contudo, apesar de não ter sido totalmente explorado, o modelo proposto contém, mesmo que representados de forma genérica, pacotes e classes fundamentais para abranger e interconectar elementos dentro e fora da fronteira da planta. Deste modo, por se tratar de um modelo com estrutura que permite alterações ou adições de novos pacotes e classes, ele pode continuar a ser desenvolvido.

É válido destacar que, o propósito desta dissertação está em demonstrar quais dados precisam ser coletados e enviados para viabilizar o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente, dessa forma não foram levados em consideração questões como semântica, interface, configurações de rede, entre outros.

A fim de se testar o modelo proposto, este foi aplicado em um processo de Montagem Inteligente fictício, no intuito de demonstrar que o MOM é capaz de gerenciar um processo de Montagem Inteligente por intermédio do Invólucro Administrativo.

Embora o modelo proposto tenha sido elaborado com competências de interconexão, de abranger elementos externos a planta e de poder envolver diferentes processos, o teste realizado neste trabalho foi direcionado ao processo de Montagem Inteligente executado dentro da planta.

O tipo de teste realizado não é suficiente para validar uma aplicação prática, contudo, foi possível certificar que o modelo proposto se mostra apto a reunir dados suficientes para alimentar o MOM, garantindo a preparação da Montagem Inteligente e disposição do layout da linha no CPAS e gerenciamento do processo. Aliado ao Invólucro Administrativo, o MOM se mostra apto a não só gerir dados em um ambiente interconectado, mas também abastecer o Invólucro Administrativo com informações suficientes para que, quando associado a um componente mestre, possa orientar seu próprio processo de montagem, enquanto coleta dados e informações que são repassadas ao MOM para que execute a gestão e monitoramento do processo.

O Invólucro Administrativo executa funções importantes durante todo o ciclo de vida do produto. Na fase de preparação da montagem, ele garante que parâmetros pré-definidos sejam enviados às estações da linha. Durante o processo, ele orienta a Montagem Inteligente do produto e além disso, ele pode coletar e enviá-los ao MOM em tempo real. Apesar de não ter sido demonstrado no teste, o Invólucro Administrativo também pode ser útil após o processo, pois permite a rastreabilidade dos componentes utilizados na montagem e também a coleta de dados do produto durante a fase de uso, favorecendo a otimização do ciclo de desenvolvimento da família de produtos.

Também foi possível concluir que, o modelo proposto nessa dissertação propicia a prevenção de erros no processo de Montagem Inteligente, dada a competência de monitoramento de dados em tempo real do MOM. Além disso, as informações armazenadas pelo MOM formam um *Big Data*, que pode favorecer análise de tendências, provisão de problemas, tomadas de decisão otimizadas e geração de conhecimento na empresa.

Em suma, pela demonstração de suas competências, o modelo proposto nesta dissertação pode ser considerado uma solução satisfatória para o problema proposto, atendendo assim o objetivo do trabalho. Contudo, por se tratar de um diagrama de classes UML, o modelo ainda precisa ser desenvolvido, em especial por especialistas de TI e programação, para que possa ser convertido em um sistema com uma linguagem e então aplicado em um processo de Montagem Inteligente real.

7 Referencial bibliográfico

- [1] ZVEI, “Industrie 4.0: MES – Prerequisite for Digital Operation and Production Management,” 2017.
- [2] Y. Zhang, G. Huang, T. Qu e J. Hong, “Agent-based Real-time Assembly Line Management for Wireless Job Shop Environment,” *IEEE - International Conference on Mechatronics and Automation*, 2010.
- [3] O. Sand, S. Büttner, V. Paelke e C. Röcker, “smARt.Assembly – Projection-Based Augmented Reality for Supporting Assembly Workers,” *8th International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*, pp. 643-652, 2016.
- [4] A. Picard, “Integrated Component Data Model for Smart Production Planning,” *19º Seminário Internacional de Alta Tecnologia*, 2014.
- [5] D. Strang e R. Anderl, “Assembly Process driven Component Data Model in Cyber-Physical Production Systems,” *World Congress on Engineering and Computer Science*, vol. 2, 2014.
- [6] S. J. Hu, J. Ko, L. Weyand, H. A. ElMaraghy, T. K. Lien, Y. Koren, H. Bley, G. Chyssolouris, N. Nasr e M. Shpitalni, “Assembly system design and operations for product variety,” *CIRP Annals Volume 60*, pp. 715-733, 2011.
- [7] J. Heilala, H. Helaakoski e I. Peltomaa, “Smart assembly – Data and model driven,” *IFIP - International Federation for Information Processing*, 2008.
- [8] H. ElMaraghy e W. ElMaraghy, “Smart Adaptable Assembly Systems,” *6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS)*, 2016.
- [9] M. Gewohn e B. Grimm, “IIoT in der Fahrzeugmontage,” *Automatisierungstechnik*, pp. 754-764, 2016.
- [10] J. Heilala e P. Voho, “Modular reconfigurable flexible final assembly systems,” *Assembly Automation*, vol. 21, 2001.
- [11] M. Aehnel e S. Bader, “Providing and Adapting Information Assistance for Smart Assembly Stations,” *SAI - Intelligent Systems Conference*, 2016.

- [12] R. Müller, L. Hörauf, M. Vette e C. Speicher, "Planning and developing cyber-physical assembly systems by connecting virtual and digital worlds," *Procedia CIRP* 52, pp. 35-40, 2016.
- [13] J. Camelio e J. Gershenson, "Designing a Smart Assembly System," *ICED - International Conference on Engineering Design*, 2009.
- [14] J. Slotwinski e R. Tilove, "Smart Assembly: Industry Needs and Challenges," *Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems*, pp. 257-262, 2007.
- [15] A. Khalid, P. Kirisci, Z. Ghrairi, K.-D. Thoben e J. Pannek, "A methodology to develop collaborative robotic cyber physical systems for production environments," *Logistics Research*, pp. 9-23, 2016.
- [16] U. Dombrowski, T. Wagner e C. Riechel, "Concept for a Cyber-Physical Assembly System," *IEEE - International Symposium on Assembly and Manufacturing*, pp. 293-296, 2013.
- [17] M. Mongiello, S. Colucci, E. Vogli, L. Grieco e M. Sciancalepore, "Run-time architectural modeling for future internet applications," *Complex Intelligent Systems*, pp. 111-124, 2016.
- [18] S. Wang, J. Wan, D. Zhang, D. Li e C. Zhang, "Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination," *Computer Networks*, pp. 158-168, 2016.
- [19] VDI/VDE - GMA & ZVEI , "Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) - Status Report," 2015.
- [20] C. Zhai, Z. Zou, Y. Qin, N. Ma, Y. Huan, Q. Chen, L. Zheng e H. Tenhunen, "QoS based RFID System for Smart Assembly Workshop," *IEEE - International onference on RFID Technology and Applications*, 2016.
- [21] A. Picard, R. Anderln e K. Schützer, "Controlling Smart Production Process Using RESTful Web Services and Federative Factory Data Management," *14th Asia Pacific Industrial Engineering and Management System*, 2013.
- [22] N. Thomopoulos, *Assembly Line Planning and Control*, Springer, 2013.

- [23] Y. Koren, *The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*, 2010.
- [24] G. Chryssolouris, *Manufacturing Systems: Theory and Practice*, Springer, 2006.
- [25] M. Schönemann, C. Herrmann, P. Greschke e S. Thiede, "Simulation of matrix-structured manufacturing systems," *Journal of Manufacturing Systems*, pp. 104-112, 2015.
- [26] J. Schlick, "Cyber-physical systems in factory automation - Towards the 4th industrial revolution," *9th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, 2012.
- [27] N. Jazdi, "Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0," *IEEE*, 2014.
- [28] Y. Li, U. Roy, S.-J. Shin e T. Lee, "A "Smart Component" Data Model in PLM," *IEEE - International conference on Big Data*, 2015.
- [29] D. Zuehlke, "SmartFactory - from Vision to Reality in Factory Technologies," *The International Federation of Automation Control*, 2008.
- [30] L. Durão, S. Haag, R. Anderl, K. Schützer e E. Zancul, "Development of a Smart Assembly Data Model," *Product Lifecycle Management and the Industry of the Future* , pp. 655-666, 2017.
- [31] R. Müller, M. Vette, L. Hörauf e C. Speicher, "Identification of assembly system configuration for cyber-physical assembly system planning," *Applied Mechanics and Materials*, pp. 24-32, 2016.
- [32] Q. Cao, W. Wang, X. Zhu, C. Leng e M. Adachi, "Study on Ubiquitous Robotic Systems for Smart Manufacturing Program," *IEEE - International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts*, 2016.
- [33] A. L. Ramião, *Sistema Ciber-Físico de Produção Modular usando Raspberry Pi*, Universidade Nova de Lisboa, 2017.
- [34] Plattform Industrie 4.0, "Structure of the Administration Shell – Continuation of the Development of the Reference Model for the Industrie 4.0 Component," Spree Druck Berlin GmbH, Berlin, 2016.

- [35] B. Müller, T. Nguyen, Q.-V. Dang, B. Duc, G. Seliger, J. Krüger e H. Kohl, "Motion tracking applied in assembly for worker training in different locations," *23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, pp. 460-465, 2016.
- [36] K. Downey, A. Parkinson e K. Chase, "An introduction to smart assemblies for robust design," *Research in Engineering Design*, pp. 236-246, 2003.
- [37] K. Downey, A. Parkinson e K. Chase, "Smart assembly for robust design: a progress report," *ASME 2002 - Design Engineering Technical Conferences*, 2002.
- [38] National Institute of Standards and Technology, "A Report on Smart Assembly," 2006.
- [39] S. Haag, L. Durão, R. Anderl, B. Cassoli, C. Tessecino, C. Sayeg, F. Stephan, G. Kiam, J. Bottino, B. Machado e G. Marim, "Development of a Component Data Model for Smart Assemblies in Industrie 4.0 Scenarios," 2017.
- [40] R. K. Rajput, "A Textbook of Manufacturing Technology (Manufacturing Processes)," Laxmi Publications, 2007.
- [41] R. Anderl, D. Strang, A. Picard e A. Christ, "Informationsträger für cyber-physische Produktionssysteme," *ZWF*, pp. 64-69, 2014.
- [42] R. Ružarovský, N. Danišová e K. Velíšek, "Application of assembly system partial units for the development of intelligent assembly cell," *Applied Mechanics and Materials*, pp. 3-11, 2013.
- [43] Y. Zhang, G. Huang, T. Qu, O. Ho e S. Sun, "Agent-based smart objects management system for real-time ubiquitous manufacturing," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, pp. 538-549, 2011.
- [44] T. Qu, L. Zhang, Z. Huang, Q. Dai e X. Chen, "RFID-enabled Smart Assembly Workshop Management System," *IEEE - International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 2013.
- [45] M. Leu, H. Elmaraghy, A. Nee, S. Ong, M. Lanzetta, P. Matthias, W. Zhu e B. Alain, "CAD model based virtual assembly simulation, planning and training," *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 62(2), pp. 799-822, 2013.

- [46] Q. Wang, J. Li e H. Gong, "A CAD-linked virtual assembly environment," *International Journal of Production Research*, pp. 467-486, 2006.
- [47] J. Wang, J. Yu, S. Li, G. Xiao, Q. Chang e S. Biller, "A Data Enabled Operation-Based Simulation for Automotive Assembly," *7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing*, 2008.
- [48] M. Aehnel e S. Bader, "From Information Assistance to Cognitive Automation: A Smart Assembly Use Case," *International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, pp. 207-222, 2015.
- [49] A. Bruzzone, A. Traverso, D. Antonelli, S. Carmignato, E. Savio, G. Fantoni, M. Porta, C. Leone e V. Lopresto, "Study and integration of microtechnologies for smart assembly of micro-products," *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems*, pp. 265-293, 2009.
- [50] N. Asadi, M. Jackson e A. Fundin, "Drivers of complexity in a flexible assembly system – A case study," *48th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 2015.
- [51] K. Lupinetti, F. Giannini, M. Monti e J.-P. Pernot, "Automatic extraction of assembly component relationships for assembly model retrieval," *26th CIRP Design Conference*, 2016.
- [52] J. D. Furlan, *Modelagem de objetos através da UML*, São Paulo: MAKRON Books Ltda., 1998, pp. 16-22.
- [53] ZVEI, "Examples for the Asset Administration Shell for Industrie 4.0 Components – Basic Part," 2017.
- [54] ZVEI, "What Criteria do Industrie 4.0 Products Need to Fulfill?," 2017.
- [55] Cummins, "SMART manufacturing SEMINAR SERIES," sme, [Online]. Available: http://www.sme.org/uploadedFiles/Smart_Manufacturing_Education_Series/Lecrone-Rachel.pdf. [Acesso em Fevereiro 2018].
- [56] M. L. Vanderlei e J. Muniz, "Implantação do sistema MES para monitoramento de produção em tempo real no setor aeronáutico - um estudo de caso," 2008.
- [57] Kite, "MES na Prática - Gestão da Produção no século XXI," Caique Cardoso, 2014.

- [58] H. Meyer, F. Fuchs e K. Thiel, *Manufacturing Execution Systems - Optimal Design, Planning and Deployment*, Mc Graw Hill, 2009.
- [59] S. Nakajima, *Introdução ao TPM - Total Productive Maintenance*, São Paulo: IMC, 1989.
- [60] E. Haberkorn, *Teoria do ERP*, TI Educacional, 2015.
- [61] C. Koch, "The ABCs of ERP - Getting started with Enterprise Resource Planning," 2006. [Online]. Available: <http://www.citi.columbia.edu/B8210/read26a/supp1-07/theabcsoferp.pdf>. [Acesso em Setembro 2018].
- [62] S. Chopra e P. Meindl, *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - Estratégia, Planejamento e Operação*, Pearson, 2016.
- [63] T. Padilha e F. Marins, "Sistemas ERP: características, custos e tendências," *Revista Produção*, vol. 15, pp. 102-113, 2005.
- [64] T. Davenport, "Putting the Enterpeise into the Enterprise System," *Harvard Business Review*, pp. 121-131, 1998.
- [65] CloudPYME, "Guia de recomendações para implementação de PLM em PME's," [Online]. Available: http://www.cloudpyme.eu/wp-content/uploads/2015/10/guia_recomendacoes_implementacao_PLM_PT.pdf. [Acesso em Outubro 2018].
- [66] CIMData, "Product Lifecycle Management: Empowering the Future of Business," em *CIMData*, Ann Arbor, 2002.
- [67] PTC, "Os Principais recursos de gerenciamento de ciclo de vida do produto necessários para uma solução de melhor qualidade," *Parte 2: Definição de PLM - Recursos e Funcionalidades Essenciais*, 2010.
- [68] American Production and Inventory Control Society (APICS), *APICS Dictionary*, 7 ed., Falls Church: American Production and Inventory Control Society, 1992.
- [69] J. Clement, A. Coldrick e J. Sari, *Manufacturing data structures: building foundations for excellence with bills of material and process information*, 1992.

- [70] H. Rozenfeld e C. Oliveira, "Estruturação e Identificação de PProdutos em Ambientes Integrados," *Máquinas e Metais*, 1999.
- [71] M. Littlefield, "The Evolution of MOM and PLM: Enterprise Bill of Process," LNS Research, 2012. [Online]. Available: <https://blog.insresearch.com/bid/141670/the-evolution-of-mom-and-plm-enterprise-bill-of-process>. [Acesso em Setembro 2018].
- [72] X. Chen, S. Gao, S. Guo e J. Bai, "A flexible assembly retrieval approach for model reuse," *Computer-Aided Design*, pp. 554-574, 2012.
- [73] SpaceProgrammer, "Introduzindo os conceitos de modelagem e diagramação," [Online]. Available: <http://spaceprogrammer.com/uml/introduzindo-o-conceito-de-modelagem-e-diagramacao/>. [Acesso em Junho 2018].
- [74] G. T. A. Guedes, UML 2 - Uma amordagem prática, São Paulo: Novatec Editora Ltda., 2011.
- [75] A. Dresch, D. P. Lacerda e V. J. A. Antunes Jr., Design Science Research - A method for Science and Technology Advancement, Cham: Springer, 2015.
- [76] M. Bunge, Epistemologia [Epistemology], São Paulo: T. A. Queiroz Editora Ltda., 1980.
- [77] W. Li, K. Xia, B. Lu, K. M. Chao, L. Gao e J. X. Yang, "A Distributed Service of Selective Disassembly Planning for Waste Electrical and Eletronic Equipment Case Studies on Liquid Crystal Display," *Cloud Manufacturing*, pp. 23-47, 2013.
- [78] J. Chiodo e N. Jones, "Smart materials use in active disassembly," *Assembly Automation*, nº 32, pp. 8-24, 2012.
- [79] T. Algeddawy e H. Elmaraghy, "Assembly systems layout design model for delayed products differentiation," *International Journal of Production Research*, 2010.
- [80] SAS Institute Inc., "Big Data - O que é e por que é importante?," [Online]. Available: https://www.sas.com/pt_br/insights/big-data/what-is-big-data.html. [Acesso em Fevereiro 2018].
- [81] Endeavor, "Just-in-time: optimize sua produção e corte custos," 2015. [Online]. Available: <https://endeavor.org.br/just-time/>. [Acesso em Fevereiro 2018].

- [82] V. Chan e F. Salustri, "Desig for Assembly," 2005. [Online]. Available: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html>.
- [83] Ordinal Software, "Products traceability - Genealogy," [Online]. Available: <https://www.ordinal.fr/en/mes-mom-traceability-genealogy.htm>. [Acesso em Maio 2018].
- [84] Celta Informática, "O que é SOA e por que usá-la?," [Online]. Available: <http://www.celtainformatica.com.br/noticias/o-que-e-soa-e-por-que-usa-la>. [Acesso em Maio 2018].
- [85] Plattform Industrie 4.0, "The background to Plattform Industrie 4.0," [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/ThePlatform/PlattformIndustrie40/plattform-industrie-40.html;jsessionid=6AE4174488789EB3F8393A44F4C4ABD7>. [Acesso em Maio 2018].
- [86] ZVEI, "Zvei: Die Elektroindustrie," [Online]. Available: <https://www.zvei.org/en/association/about-us/>. [Acesso em Maio 2018].
- [87] F. B. d. Oliveira, "Interfaces usuário-máquina," 2011. [Online]. Available: https://sistemas.riopomba.ifsudestemg.edu.br/dcc/materiais/1618984280_Apostila-Interfaces-Homem-Maquina.pdf. [Acesso em Junho 2018].

Anexos

Anexo 1: Componentes do Produto 1 - Carrinho

Componente	Geometria	Quantidade	Número da peça (PN)	Cor(es) disponíveis																				
Chassi		1	30xx	Azul, branco, cinza, preto, verde e vermelho																				
Spoiler dianteiro		1	50949	Amarelo, azul, cinza, preto, verde e vermelho																				
Eixo		2	2926	Cinza, preto e vermelho																				
Roda		4	6014	Azul, branco, cinza, preto, verde e vermelho																				
Pneu		4	6015	Preto																				
Volante		1	73081	Azul, branco, cinza e vermelho																				
Banco		1	4079	Azul, branco, gelo, preto e vermelho																				
Capô		1	3298	Amarelo, azul, branco, cinza, preto, roxo, verde e vermelho																				
Spoiler traseiro		1	47548	Amarelo, azul, cinza, preto, roxo, verde e vermelho																				
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cor</th> <th>Código</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Amarelo</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Azul</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Branco</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Cinza</td> <td>199</td> </tr> <tr> <td>Gelo</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Preto</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Roxo</td> <td>268</td> </tr> <tr> <td>Verde</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Vermelho</td> <td>21</td> </tr> </tbody> </table>	Cor	Código	Amarelo	24	Azul	23	Branco	1	Cinza	199	Gelo	5	Preto	26	Roxo	268	Verde	4	Vermelho	21
Cor	Código																							
Amarelo	24																							
Azul	23																							
Branco	1																							
Cinza	199																							
Gelo	5																							
Preto	26																							
Roxo	268																							
Verde	4																							
Vermelho	21																							

Anexo 2: Componentes do Produto 2 - Triciclo

Componente	Geometria	Quantidade	Número da peça (PN)	Cor(es) disponíveis
Chassi		1	76040	Azul, branco e vermelho
Guidão com suspensão		1	30189	Azul, branco, preto e vermelho
Roda dianteira		1	30190	Azul, cinza e preto
Roda traseira		2	6014	Azul, branco, cinza, preto, verde e vermelho
Pneu		3	6015	Preto
Spoiler traseiro		1	47548	Amarelo, azul, cinza, preto, roxo, verde e vermelho
Farol dianteiro		1	98138	Branco
Farol traseiro		1	98138	Vermelho

Cor	Código
Amarelo	24
Azul	23
Branco	1
Cinza	199
Preto	26
Roxo	268
Verde	4
Vermelho	21

Anexo 3: Componentes do Produto 3 - Triciclo

Componente	Geometria	Quantidade	Número da peça (PN)	Cor(es) disponíveis	
Quadro		1	50859	Amarelo, azul, cinza, preto, verde e vermelho	
Aro		2	50862	Amarelo, azul, cinza, preto, verde e vermelho	
Pneu		2	50861	Preto	
				Cor	
				Código	
				Amarelo	24
				Azul	23
				Cinza	199
				Preto	26
				Verde	4
				Vermelho	21

Anexo 4: Diagrama de classe UML completo

