

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS

MAICON SATURNO

FRAMEWORK PARA A MODELAGEM DA ARQUITETURA DE SISTEMAS DE
AUTOMAÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

CURITIBA

2019

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS

FRAMEWORK PARA A MODELAGEM DA ARQUITETURA DE SISTEMAS DE
AUTOMAÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

CURITIBA

2019

MAICON SATURNO

**FRAMEWORK PARA A MODELAGEM DA ARQUITETURA DE SISTEMAS DE
AUTOMAÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

Relatório de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Área de concentração: Modelagem, Controle e Automação de Sistemas, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR) como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo de Freitas
Rocha Loures

CURITIBA

2019

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Edilene de Oliveira dos Santos CRB-9/1636

	Saturno, Maicon
S254f	Framework para a modelagem da arquitetura de sistemas de automação no
2019	contexto da indústria 4.0 / Maicon Saturno ; orientador, Fernando Deschamps ;
	coorientador, Eduardo de Freitas Rocha Loures. 2019
	118 f. : il. ; 30 cm
	Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba,
	2019
	Bibliografia: f. 112-115
	1. Administração da produção. 2. Framework (Arquivo de computador). 3.
	Indústrias – Inovações tecnológicas. 4. Arquitetura de computador.
	I. Deschamps, Fernando. II. Loures, Eduardo de Freitas Rocha.
	III. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em
	Engenharia de Produção e Sistemas. IV. Título
	CDD. 20.ed. – 658.51

TERMO DE APROVAÇÃO

MAICON SATURNO

"FRAMEWORK PARA A MODELAGEM DA ARQUITETURA DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0".

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Presidente da Banca
Prof. Dr. Fernando Deschamps
(Orientador)



Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures
(Coorientador PPGEPS/PUCPR)



Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos
(Membro Interno PPGEPS/PCUPR)



Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos
(Membro Externo / PPGEPS-UTFPR)

Curitiba, 18 de julho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos para sua viabilidade no transcorrer dos trabalhos e aos quais sou imensamente grato.

Ao Professor Doutor Fernando Deschamps, pelo exemplar trabalho de orientação, pelo apoio constante, disponibilidade dedicada e principalmente pelo incentivo em cada etapa desta pesquisa.

Ao Professor Doutor Eduardo de Freitas Rocha Loures, Coorientador e grande incentivador no processo de desenvolvimento desta pesquisa, sempre com grandes ideias e participações importantes para consolidação deste estudo.

Ao Sr. Glaison Citadin, sócio-diretor da empresa Dominus, pela grande oportunidade dentro deste projeto de parceria escola-empresa viabilizando a construção deste sonho e também pela confiança dispendida na condução da pesquisa em paralelo a todos os compromissos da empresa durante este tempo.

Aos docentes, pela participação e colaboração, com contribuições interessantes para aprimoramento conceitual deste trabalho.

Aos amigos e colegas, participantes dos grupos de estudo, sempre dedicados aos debates e discussões, pelo companheirismo e pelas contribuições para crescimento contínuo da pesquisa.

Por último, dirijo um agradecimento especial a minha família, para minha esposa Luciana pelo apoio incondicional e a paciência necessária dedicada em todo esse tempo e para meus filhos Vicente e Alice pelo carinho e compreensão em cada momento de ausência. A eles dedico este trabalho!

RESUMO

Introdução: O upgrade de uma arquitetura empresarial é um dos motivos essenciais no sentido da evolução de uma planta industrial. Os sistemas, equipamentos e componentes presentes em uma plataforma tecnológica são continuamente avaliados com o objetivo de atender às novas demandas de um sistema de produção. As tecnologias disponíveis para suportar o conceito da nova indústria inteligente requerem uma atenção ainda maior no desenvolvimento de soluções que possibilitem atender os anseios de uma nova demanda produtiva. Entender a atual arquitetura e propor a melhor solução para a evolução deste sistema torna-se o desafio principal neste cenário. Este estudo propõe um *framework* com ferramentas que possibilitam a sugestão de uma nova proposta de arquitetura a partir das plataformas de automação.

Objetivo: O desenvolvimento de um *framework* alinhado aos conceitos consolidados de arquiteturas da ISA-95 e aos elementos do modelo referencial RAMI 4.0 como ferramenta para extrair das plataformas existentes os elementos substanciais necessários para modelagem de uma arquitetura em estudo. **Metodologia:** A aplicação do *framework* em um estudo de caso real para possibilitar a análise de um sistema existente afim de coletar informações concretas que possam permitir de forma orientada a avaliação desta arquitetura empresarial em atual funcionamento através da modelagem desta arquitetura analisada. **Resultados:** A coleta orientada das informações da planta em atual funcionamento permitiu a representação da arquitetura através da notação ArchiMate e possibilitou uma visão mais estruturada que aliado as novas tecnologias permitiram sugestões de melhorias consistentes para o atendimento as demandas por soluções inteligentes. **Conclusão:** A representação da arquitetura com o uso da notação ArchiMate a partir de dados extraídos com o uso de um *framework* estruturado com vistas aos conceitos de fábricas inteligentes permite uma visão clara do estado atual da plataforma analisada. Esta modelagem fornece ainda pistas no sentido da evolução da arquitetura alinhada aos conceitos da indústria 4.0.

Palavras-chave: Architecture, ISA-95, RAMI 4.0, Industry 4.0

ABSTRACT

Introduction: The upgrade of an enterprise architecture is one of the most important developments in an industrial plant. The systems, equipment and components present in a technological platform are continuously evaluated in order to meet the new requirements of a production system. The technologies available to meet the new requirements of a new productive demand can be met. Understanding the current architecture and proposing a better solution for the evolution of the system becomes the main of this scenario. This estudy presents a framework with the tools that make possible the suggestion of a new architecture proposal from the automation platforms.

Objective: The development of a framework aligned with the consolidated concepts of ISA-95 architectures and the elements of the RAMI 4.0 referential model as a tool to extract from the existing platforms the substantial elements needed to model an architecture under study. **Methods:** The application of the framework in a real case study to enable the analysis of an existing system in order to collect concrete information that may allow in a way oriented the evaluation of this business architecture in current operation through the modelling of this architecture analyzed. **Results:** The guided collection of the information of the plant in current operation allowed the representation of the architecture through the ArchiMate notation and allowed a more structured vision that allied to the new technologies allowed suggestions of consistent improvements to the demands for intelligent solutions. **Conclusion:** The representation of the architecture with the use of ArchiMate notation from data extracted with the use of a structured *framework* with a view to the concepts of intelligent factories allows a clear vision of the current state of the analyzed platform. This modelling also provides clues towards the evolution of architecture aligned with industry concepts 4.0.

Keywords: Architecture, ISA-95, RAMI 4.0, Industry 4.0

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de Fluxo de Pesquisa.....	19
Figura 2 - Níveis ISA-95	27
Figura 3 - Sistemas distribuídos nas camadas de hierarquias	28
Figura 4 - Funções e as relações	29
Figura 5 - Modelo SME.....	30
Figura 6 - RAMI 4.0.....	31
Figura 7 - Camadas do RAMI 4.0	32
Figura 8 - Modelo Intelligent Manufacturing System Architecture.....	35
Figura 9 - Arquitetura (IIRA).....	36
Figura 10 - Requisitos do sistema em automação industrial.....	37
Figura 11 - Interface do ArchiMate	43
Figura 12 - Camadas e aspectos do ArchiMate	44
Figura 13 - Relação entre as arquiteturas.....	45
Figura 14 - Estrutura do Instrumento de coleta	46
Figura 15 - Módulo de avaliação "ISA-95 Funções"	49
Figura 16 - Módulo de avaliação "ISA-95 modelos de objeto"	52
Figura 17 - ISA-95: Production Capability Model	53
Figura 18 - ISA-95: Personnel Model.....	55
Figura 19 - ISA-95: Equipment Model.....	57
Figura 20 - ISA-95: Material model.....	61
Figura 21 - ISA-95: Production Definition Model	67
Figura 22 - ISA-95: Production Schedule Model	71
Figura 23 - ISA-95: Production Performance Model.....	76
Figura 24 - Fluxograma de modelagem da arquitetura.....	83
Figura 25 - Relação entre o ArchiMate e os requisitos de arquiteturas	84
Figura 26 - Tabela de Dados "ArchiMate"	85
Figura 27 - Layout da Linha de Produção: Linha Branca	87
Figura 28 - Topologia Existente	88

Figura 29 - Módulo de avaliação "ISA-95 Funções"	91
Figura 30 - Módulo de Avaliação "ISA-95 Modelos de Objeto"	93
Figura 31 - Arquitetura Final Modelada no ArchiMate	105
Figura 32 - Relação entre as camadas do "ArchiMate e RAMI 4.0"	106
Figura 33 - Technologies for Industry 4.0.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de cruzamento entre funções.....	50
Tabela 2 - Production Capability model map to ArchiMate	54
Tabela 3 - Personnel Model Map To ArchiMate	57
Tabela 4 - Equipment Map To ArchiMate.....	61
Tabela 5 - Material Model Map To ArchiMate.....	66
Tabela 6 - Production Definition Map To ArchiMate	70
Tabela 7 - Production Schedule Map To ArchiMate	75
Tabela 8 - Production Performance Map to ArchiMate	79
Tabela 9 - Tabela de Relações Entre Funções	91
Tabela 10 - Elementos da camada física	100
Tabela 11 - Elementos da camada de tecnologia.....	102
Tabela 12 - Elementos da camada de aplicação	103
Tabela 13 - Elementos da camada de negócios	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RAMI 4.0	<i>Reference Architectural Model Industrie 4.0</i>
PLC	<i>Programmable Logical Controller</i>
DCS	<i>Distributed Control System</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification Device</i>
OPC	<i>Open Platform Communications</i>
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management System</i>
WMS	<i>Warehouse Management System</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
AE	<i>Arquitetura Empresarial</i>
TA	<i>Tecnologias de Automação</i>
TI	<i>Tecnologias de Informação</i>
S-A	<i>Sensors and Actuators</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Questão de pesquisa	16
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	Estrutura de trabalho.....	17
2	ABORDAGEM DA PESQUISA.....	19
2.1.1	Fase 1: Estudo exploratório das arquiteturas de automação	21
2.1.2	Fase 2: Definição do Instrumento de coleta.....	22
2.1.3	Fase 3: Definição Procedimento de arquitetura	23
2.1.4	Fase 4: Avaliação do procedimento de instrumento de coleta	23
3	REFERENCIAIS TEÓRICOS	24
3.1	Arquiteturas de Automação.....	24
3.2	O Modelo ISA-95	26
3.3	Smart Manufacturing Ecosystem (SME).....	29
3.4	Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0).....	31
3.4.1	A importância do uso do modelo referencial (RAMI 4.0)	33
3.5	Intelligent Manufacturing System Architecture (IVRA)	35
3.6	Industrial Internet Reference Architecture (IIRA).....	36
3.7	Requisitos de Sistemas de Automação	37
3.8	Procedimento de Modelagem.....	39
3.8.1	UML - Unified Modeling Language	41
3.8.2	Ferramenta de Modelagem - ArchiMate	41
3.9	Consideração e Síntese do Capítulo.....	44
4	INSTRUMENTO DE COLETA E PROCEDIMENTO DE MODELAGEM.....	46
4.1	Instrumento de Coleta.....	46
4.1.1	Módulo de Avaliação “ISA-95 Funções”	47
4.1.1.1	ISA-95: Identificação das Funções Existentes.....	49
4.1.2	Módulo de Avaliação “ISA-95 Modelos de objeto”	51

4.1.2.1	Modelagem do Objeto: 7.3.1 - Production Capability Model	52
4.1.2.2	Modelagem de Objeto: 7.3.2 Personnel Model.....	57
4.1.2.3	Modelagem de Objeto: 7.3.3 – Equipment Model	61
4.1.2.4	Modelagem de Objeto: 7.3.4 – Material Model	61
4.1.2.5	Modelagem de Objeto: 7.4 – Product Definition Model	70
4.1.2.6	Modelo de Objeto: 7.5.1 3 7.5.2 – Production Schedule Model.....	70
4.1.2.7	Modelo de Objeto: 7.5.3 e 7.5.4 – Production Performance Model....	75
4.1.3	Modulo de avaliação “Elementos RAMI 4.0”	80
4.1.3.1	Busomess Layer (Camada de Negócios)	81
4.1.3.2	<i>Information Layer (Camada de informações)</i>	81
4.1.3.3	Communication Layer (Camada de comunicação)	81
4.1.3.4	<i>Integration Layer (Camada de integração)</i>	82
4.1.3.5	<i>Asset Layer (Camada de ativos)</i>	82
4.2	Procedimento de modelagem.....	82
4.2.1	Relacionamento entre os elementos de modelagem de sistemas de automação e o Archimate	84
4.2.2	Tabela de Dados “ARCHIMATE”	85
5	ESTUDO DE CASO APLICADO	87
5.1	Descrição do Caso	87
5.1.1	Topologia da Plataforma de Automação.....	88
5.1.2	Tecnologias, Sistemas e Funções Existentes.....	88
5.2	Instrumento de Coleta de Informações - Resultados	90
5.2.1	Módulo de Avaliação “ISA-95 FUNÇÕES”	90
5.2.2	Módulo de Avaliação “ISA-95 Modelos de objeto”	93
5.2.3	Módulo de Avaliação “Elementos RAMI 4.0”	94
5.3	Modelagem da Arquitetura Real.....	99
5.3.1	Camada física	100
5.3.2	Camada de tecnologia	101
5.3.3	Camada de aplicação.....	102
5.3.4	Camada de negócios.	103

5.4	Discussões do Resultado	106
CONCLUSÃO		109
REFERÊNCIAS		112
ANEXO A - MÓDULO DE AVALIAÇÃO “ELEMENTOS DO RAMI 4.0”		116
ANEXO B - MÓDULO AVALIAÇÃO “ELEMENTOS DO RAMI 4.0” RESULTADOS		117
ANEXO C - TABELA RESULTADOS ARCHIMATE		118

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, sistemas de produção tem recebido a aplicação de tecnologias mais avançadas, integradas e conectadas para realizar a otimização de seus processos de manufatura. O conceito da Indústria 4.0 tem incorporado essas novas tecnologias como *IoT*, *Big Data*, *Analytics* entre outras tecnologias para dar suporte as novas demandas orientadas as soluções inteligentes (ZHONG et al.2017).

Contudo, os sistemas de produção já em operação têm dificuldade em implantar essas tecnologias. Barreiras existentes limitam a disponibilidade de se fazer a integração direta dos diferentes sistemas contemplados em uma arquitetura de sistemas de automação. Normalmente as comunicações entre estes sistemas de automação existentes é realizada em camadas diferentes e protocolos fazendo com as informações tenham fortes limitações de fluxo dentro da arquitetura em funcionamento. Estabelecer uma comunicação passando por todos os níveis hierárquicos de uma plataforma de automação para acesso aos dados de processo congela o sistema e dificulta a inclusão de sistemas inteligentes. Existem ainda outras barreiras que interferem diretamente na aplicação de novas arquiteturas mais inteligentes, tais como, incompatibilidade de comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes devido a existência de soluções proprietárias e ainda a limitação de capacidade tecnológica para atender um fluxo mais dinâmico para possibilitar um equilíbrio de performance durante o funcionamento do sistema. Em muitos casos o desenvolvimento de soluções alternativas é necessário para possibilitar a comunicação entre dois equipamentos de fabricantes distintos.

Neste sentido, as novas tecnologias são incorporadas para permitir que a integração dentro de uma topologia seja realizada de maneira direta e em tempo real entre todos os componentes do sistema viabilizando a adoção de soluções inteligentes. A integração de um sistema resultará em sua configuração física e desempenho funcional podendo ser melhor viabilizada através da elaboração de arquiteturas de automação. Os autores Venturelli; Márcio (2017) defendem o uso de novos dispositivos

inteligentes em plataformas integráveis, como forma de padronização em respostas rápidas em implantações, de forma a facilitar o uso e a aplicação da tecnologia.

Arquitetura de automação pode ser definida como uma representação da estrutura de um sistema em detalhes mais acentuados utilizada para a concepção de modelos, configuração do arranjo físico, de instalação e suas interfaces, especificação de equipamentos e sistemas, seleção da tecnologia de controle, projeto de comandos e realização de funções de automação, comunicação e gerenciamento.

O processo de definição da arquitetura é usado para buscar alternativas de arquiteturas ou soluções dentro de uma plataforma de automação através de elementos tecnológicos ou técnicos adequados que compõem o sistema. A norma IEEE (2000) define uma arquitetura como a estrutura fundamental de um sistema.

O processo de definição da arquitetura também é utilizado para definir os requisitos para cada elemento do sistema. A noção deste processo é abstrata, mas é um meio prático para criar, projetar ou redesenhar produtos, serviços ou empresas, conceito este tratado por Lankhorst (2012). Projetistas e desenvolvedores devem estar atentos na escolha e definição de um sistema de automação e controle, de modo que o projeto leve em consideração vários critérios e que possa estar em sincronia com o avanço tecnológico suprimindo os anseios das novas soluções industriais.

As novas soluções tecnológicas pressupõem a necessidade de arquiteturas que suportem as soluções inteligentes para nova indústria digitalizada. A literatura tradicional fornece os modelos de arquiteturas como a ANSI/ISA 95 que contribuem com informações valiosas para a construção de novos modelos (ISO/IEC 62264, 2003). Os estudos mais recentes apresentam novas propostas de modelos de arquiteturas para suportar o avanço tecnológico como é o exemplo do modelo referencial RAMI 4.0, porém tratam-se de conceitos ainda em formação.

Para a modelagem das arquiteturas, o uso de frameworks tem se tornado cada vez mais importante à medida que a complexidade dos modelos de negócios aumentou ao longo do tempo. Desde o *framework* proposto por Zachman (1987), muitos outros *frameworks* para apoiar as arquiteturas organizacionais foram propostos na continuidade deste estudo.

Os processos de modelagem de arquiteturas são frequentemente iterativos e iterativo. Incluem atividades como: estabelecimento de propósito, escopo, foco; seleção de pontos de vista; construção e estruturação de modelos; visualização de modelos; uso de modelos para comunicação com *stakeholders*; e manutenção de modelos. Dyer (2009) define a modelagem como a forma de estabelecer uma relação entre as camadas estratégicas de negócios, aplicação e tecnologias. Neste sentido a modelagem assume um papel importante para melhor representar a arquitetura de automação estudada.

Existe uma grande lacuna formada para o desenvolvimento de uma nova arquitetura para contemplar soluções inteligentes quando se parte de plantas de automação já em funcionamento. Enquanto as literaturas clássicas apresentam modelos tradicionais de arquiteturas, os estudos atuais sugerem novos modelos de arquiteturas partindo de soluções desenvolvidas por completo, ou seja, desconsiderando a existência de plantas em atividade que requerem a adaptação para suportar uma evolução.

Este trabalho visa tratar desta lacuna criada entre as novas soluções tecnológicas desenvolvidas para sistemas inteligentes e as atuais arquiteturas em funcionamento as quais requerem estudos mais dedicados para adaptação as novas soluções. Ele propõe um *framework* com ferramentas que viabilizem a análise do estado atual de uma arquitetura em funcionamento com vistas ao avanço tecnológico para uma indústria conectada. Esta análise pode trazer informações valiosas possibilitando inclusive a sugestão de inclusão de novas tecnologias alinhadas aos conceitos da Indústria 4.0 a partir das plataformas de automação em funcionamento.

1.1 Questão de pesquisa

Como unificar diferentes sistemas e equipamentos dentro de uma plataforma em funcionamento no ambiente industrial para que novas soluções inteligentes tipicamente associadas à Indústria 4.0 sejam aplicadas sem que plataformas existentes sejam completamente descartadas?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo principal a criação de um procedimento de modelagem de arquiteturas de sistemas de automação como suporte a análise do estado atual fornecendo informações importantes que facilite a implementação de novas tecnologias de sistemas de produção tipicamente associadas à Indústria 4.0. O uso de um *framework* é proposto como ferramenta para extrair das arquiteturas existentes elementos substanciais que aliados as novas tecnologias auxiliem na identificação de novos elementos como suporte as demandas de soluções inteligentes.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

1. Identificar o conjunto dos principais elementos (funções, sistemas, tecnologias, etc.) necessários para a definição da arquitetura das plataformas de automação através de estudos exploratórios.
2. Definir um instrumento de coleta capaz para levantar informações precisas do estado atual de uma arquitetura a partir da relação entre elementos consolidados e os novos conceitos de soluções inteligentes.
3. Propor o desenvolvimento de um procedimento de modelagem de arquiteturas de sistemas de automação alinhado ao contexto da indústria 4.0.
4. Avaliar os resultados da aplicação do procedimento de modelagem proposto.

1.3 Estrutura de trabalho

O presente estudo está estruturado em seis capítulos, a saber:

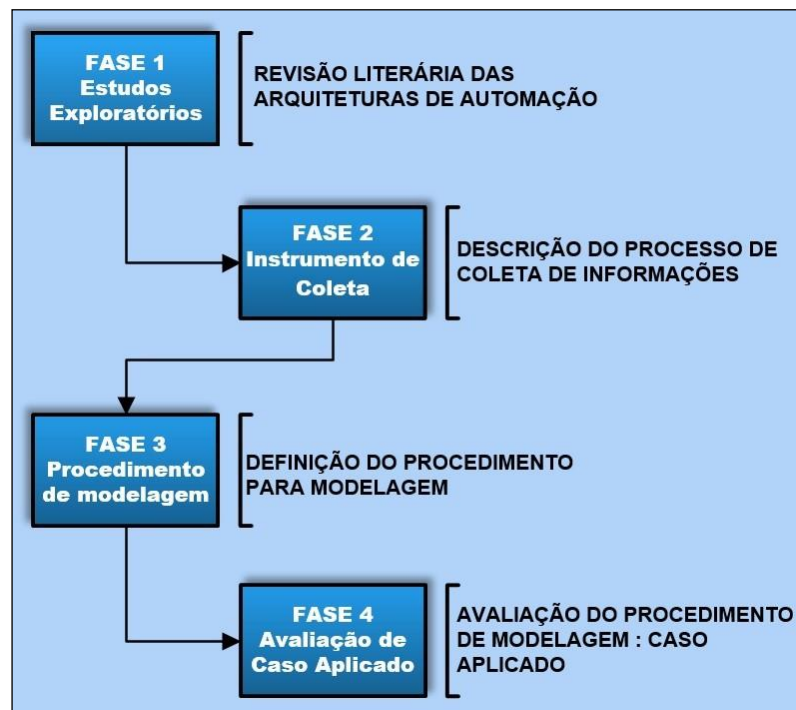
- Capítulo 1 faz uma introdução apresentando a contextualização do estudo, objetivo geral e específicos.

- Capítulo 2 apresenta a abordagem de pesquisa contemplando o processo de investigação dos elementos necessários.
- Capítulo 3 apresenta os conceitos fundamentais usados para o desenvolvimento da modelagem de arquitetura proposta.
- Capítulo 4 demonstra como foi realizado o desenvolvimento o instrumento de coleta realizado como protocolo de pesquisa, e apresenta o processo de modelagem da arquitetura de automação a partir do instrumento de coleta
- Capítulo 5 apresenta o estudo de caso e seu processo de modelagem, e a discussão dos resultados do processo de modelagem da arquitetura proposta
- Capítulo 6 descreve a síntese e apresenta a conclusão e considerações finais.

2 ABORDAGEM DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como base reunir os elementos necessários para que novas propostas de arquiteturas de automação possam ser definidas de forma mais eficiente e com uma maior facilidade, a partir da orientação estruturada, durante a obtenção e o uso das informações extraídas, a fim de promover maior qualidade aos resultados finais a serem apresentados para uma nova proposta. Extrair as informações corretas e saber como condicioná-las dentro de um planejamento é um grande desafio para permitir maior credibilidade a uma nova proposta de solução.

Figura 1 - Diagrama de Fluxo de Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os principais métodos de pesquisa usados serão:

- Revisão da literatura: A revisão da literatura será utilizada para identificar nas arquiteturas consolidadas as informações necessárias para construção de um modelo de arquitetura de automação. Através deste método de pesquisa espera-se extrair os principais elementos necessários para compor uma

proposta de arquitetura através da definição dos sistemas, funções e protocolos utilizados.

- Estudo de casos exploratórios: Casos exploratórios são necessários para captar no meio industrial atual como estão dispostas as atuais arquiteturas. Espera-se com este método obter informações relativas aos equipamentos e tecnologias disponíveis nas plataformas atuais. As principais barreiras para evolução desta arquitetura também poderão ser extraídas através das informações fornecidas pelos sistemas e protocolos existentes.
- Consulta a especialistas: A consulta aos especialistas será um passo necessário para obter os requisitos necessários para classificar as atuais tecnologias disponíveis para soluções inteligentes. Um método de coleta de informações será aplicado a estes especialistas para permitir que as informações pertinentes aos requisitos sejam levantadas para permitir a priorização destas características dentro dos sistemas propostos.
- Síntese de modelo: Um modelo de instrumento de coleta com base nos sistemas e funções necessários para uma arquitetura de automação será proposto como suporte a coleta orientada de informações. Este método deve permitir que as tecnologias existentes sejam classificadas com base nas plataformas atuais atendendo a necessidade de soluções inteligentes sem invalidar por completo uma topologia existente.
- Desenvolvimento de caso de aplicação: Após a obtenção de uma proposta de modelo, casos de aplicação serão utilizados no intuito de avaliar os resultados fornecidos pelo *framework*. Esta avaliação em um caso de aplicação deve validar os resultados fornecidos nesta pesquisa.

A pesquisa será dividida em três fases apresentadas nos tópicos seguintes definindo o método de estudo utilizado para obtenção dos objetivos esperados.

2.1 Fase 1: Estudo exploratório das arquiteturas de automação

A primeira fase desta pesquisa consiste em iniciar com uma revisão de literatura tradicional para levantar as funções e os sistemas utilizados em arquiteturas de automação, dentro das topologias industriais. No próximo capítulo, um referencial conceitual é realizado através da investigação de normas, padrões e demais literaturas que tratam dos atuais modelos consolidados na indústria atual como a ANSI/ISA-95 e ISA-88 para as arquiteturas de automação. Literaturas de apoio que tratam assuntos ligados aos sistemas de engenharia através do *Systems Engineering Handbook* também foram utilizadas como suporte para extrair atuais conceitos de arquitetura e as hierarquias existentes. O modelo referencial RAMI 4.0 foi utilizado para coletar informações pertinentes às características necessárias para arquiteturas da nova indústria do futuro e ainda literaturas voltadas para as novas tecnologias para suportar estas novas arquiteturas de automação para indústria 4.0 também fazem parte desta pesquisa.

Ainda nesta fase de pesquisa, casos exploratórios foram utilizados no capítulo 4 com o objetivo de apresentar as arquiteturas existentes, no intuito de buscar as características que hoje já atendam às necessidades da indústria 4.0 na concepção de uma nova arquitetura e suas principais barreiras para esta evolução. Neste sentido, a notação ArchiMate é utilizada para melhor representar os dados coletados através de casos exploratórios estudados. Com o auxílio do ArchiMate, as arquiteturas destes casos foram apresentadas permitindo uma visualização mais prática para uma comparação direta entre as diferentes arquiteturas existentes, o que permite a constatação de suas similaridades e peculiaridades em cada caso.

Os resultados extraídos durante a fase de coleta de informações nos casos exploratórios estudados proporcionaram o desenvolvimento de um artigo sobre o tema orientado às novas soluções de arquiteturas para indústria 4.0 a partir da visão dos especialistas neste meio industrial. O artigo foi desenvolvido para a *24th International Conference on Production Research* e posteriormente publicado na revista *Scientific*

Journal of Logistics com disponibilidade de acesso através da base de dados do Science Core Collection.

2.2 Fase 2: Definição do Instrumento de coleta

A segunda etapa deste método oferece uma nova revisão da literatura, agora na literatura atual para fazer a compilação das publicações atuais propostas para as soluções inteligentes que atendem os requisitos da indústria 4.0. A revisão da literatura neste momento tem seu foco voltado para dois pontos importantes, sendo no estabelecimento das relações entre os conceitos na norma ANSI/ISA-95 com os elementos de arquiteturas presentes no modelo referencial RAMI 4.0 e também a identificação das principais tecnologias neste contexto de indústria inteligente. Esta relação entre a norma ISA-95 e os elementos do RAMI 4.0 é de grande enriquecimento para o estudo proposto uma vez que a norma ISA-95 estabelece critérios e orientações consolidadas aos modelos de arquiteturas existentes, enquanto que o modelo RAMI 4.0 trata os principais elementos para as arquiteturas com vistas a indústria 4.0 no cenário atual. Esta composição de conceitos faz com que a análise das atuais arquiteturas tenha um viés mais estruturado e orientado a atender as demandas por soluções inteligentes dentro de um modelo de arquitetura.

A construção de um *framework* é definida através do desenvolvimento de um instrumento de coleta estruturado contemplando a composição dos conceitos da ISA-95 com os elementos do RAMI 4.0 associados aos elementos de infraestrutura, tecnologias, sistemas e informações existentes nas plantas existentes.

O instrumento de coleta é estruturado para conduzir os planejadores a confirmar os principais elementos existentes dentro de uma arquitetura e a disposição destes elementos no atendimento aos conceitos fornecidos para as arquiteturas empresariais. Esta confirmação de informações é essencial para análise do estado atual e tem o objetivo de fornecer pistas importantes em relação a evolução desta arquitetura para uma solução inteligente.

2.3 Fase 3: Definição Procedimento de arquitetura

Após a construção de um modelo de coleta de informações, o próximo passo será a utilização do *framework* em um caso real de aplicação no intuito de avaliar a qualidade dos resultados apresentados pelo modelo construído.

Um caso real de aplicação poderá fornecer informações importantes para validação do *framework* que possibilite direcionar os resultados para as necessidades reais da indústria.

A seleção do meio a ser utilizado como modelo para consolidação do caso de aplicação deverá ser realizada a partir das informações fornecidas na primeira fase desta pesquisa onde casos exploratórios foram realizados. Os resultados fornecidos pelos casos exploratórios podem servir como premissa para que se identifique o melhor cenário que poderá servir como modelo de caso aplicação permitindo uma avaliação ao final.

2.4 Fase 4: Avaliação do procedimento de instrumento de coleta

Os resultados fornecidos na fase de modelagem do estado atual da arquitetura analisada poderão fornecer informações importantes no sentido da evolução da planta permitindo identificar espaços para inclusão de novas tecnologias para suporte a soluções inteligentes. A avaliação dos resultados fornecidos, bem como seus benefícios e dificuldades apresentados deverão ser discutidos com o objetivo de validar o método proposto e abrir a possibilidade para proposição de adaptações e ajustes para melhoria deste método.

A avaliação dos resultados poderá ainda fornecer subsídios importantes na relação entre o estado atual dos sistemas em funcionamento e os modelos referenciais propostos para as novas arquiteturas. Estreitar a relação entre o cenário atual e os novos conceitos tem uma importância significativa no sentido a evolução dos atuais sistemas, fazendo com que esta evolução aconteça de forma mais flexível, com um custo reduzido e atendendo às necessidades principais esperadas pelos planejadores.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A seção a seguir da dissertação apresenta os conceitos fundamentais usados para o desenvolvimento desta pesquisa.

3.1 Arquiteturas de Automação

Os termos Arquitetura Corporativa ou Arquitetura Empresarial (AE) definem o conjunto de métodos e modelos utilizados para representar uma estrutura organizacional empresarial, processos de negócios e infraestrutura. A norma IEEE (2000), define uma arquitetura como a estrutura fundamental de um sistema, plasmada em seus componentes e relações mútuas e com o ambiente, além dos princípios orientadores da sua concepção e evolução. A AE visa ter uma visão do todo de uma empresa de forma ampla. Para Dyer (2009) a modelagem da arquitetura deve permitir estabelecer uma relação entre as camadas estratégicas de negócios, aplicação e tecnologias. A crescente evolução tecnológica aliada a demanda exigente do mercado atual faz com que as arquiteturas sejam cada vez mais complexas e sua modelagem requer ferramentas com capacidades de reproduzir de forma eficiente um modelo estrutural organizacional.

Um modelo de arquitetura bem estabelecido permite ainda um suporte nas tomadas de decisões alinhadas a estratégia do negócio. A visão global da planta permite prever de forma mais clara os impactos de alterações planejadas para serem efetuadas no sistema. Dentro deste contexto o maior desafio da arquitetura corporativa é conseguir alinhar sua estratégia de negócios à execução, fazendo com que a estratégia planejada seja uma realidade dentro da empresa. Um programa para modelagem e manutenção de uma AE deve compreender a empresa como um todo, desde as pessoas, processos, informações e as tecnologias disponíveis. Inclusive considerar além das relações entre si, também com o ambiente externo. Conforme Zaidan (2015), a modelagem possibilita uma visão holística do ambiente empresarial

apoando a governança e auxiliando as decisões através da visão do estado atual do processo de negócio.

A modelagem de arquiteturas para contemplar os sistemas de automação foi implantada há muito tempo usando um modelo hierárquico com responsabilidades bem definidas:

$$\text{ERP} \Leftrightarrow \text{MES} \Leftrightarrow \text{SCADA} \Leftrightarrow \text{PLC} \Leftrightarrow \text{S-A}$$

Este modelo tem base no compromisso de custo, desempenho e integração entre os sistemas respeitando a hierarquia definida para o processo existente de negócio.

As tecnologias emergentes estão mudando a forma como os sistemas de produção são estruturados e operados, novos conceitos são inseridos nas soluções como *IoT*, computação em nuvem, *Big Data*, análise, fabricação de aditivos, robótica colaborativa, tecnologias móveis entre outros. Os integradores de sistemas estão lutando para incorporar essas tecnologias em sistemas existentes, que às vezes têm impactos nos modelos de negócios. Isso traz novos desafios para os sistemas de automação.

O uso de *frameworks* para o desenvolvimento das arquiteturas tem se tornado cada vez mais importante à medida que a complexidade dos modelos de negócios aumentou ao longo do tempo. Desde o *framework* proposto por Zachman (1987), muitos outros *frameworks* para apoiar as arquiteturas organizacionais foram propostos na continuidade deste estudo. Exemplos destes *frameworks* incluem o *framework* de arquitetura TOGAF (THE OPEN GROUP, 2007), o *framework* de arquitetura do Departamento de Defesa Norte-Americano DoDAF (U.S DEPARTMENT OF DEFENSE, 2007) , o modelo de referência RM-ODP da ISO (Reference Model for Open Distributed Processing) (ISO, 1995), e ainda a arquitetura ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) (SCHEER, 1999) considerada um padrão de fato em diversos segmentos produtivos.

Normalmente a modelagem destes frameworks considera que uma planta industrial é composta pelos seguintes elementos:

- Estruturas Organizacionais (Atores, Papeis e unidades);
- Atividades Organizacionais (Serviços e Processos de Negócios);
- Serviços de Aplicativos e Sistemas de Informação;
- Modelos Conceituais de Informação;
- Infraestrutura Técnica de Suporte aos SI;

Desta forma, uma Arquitetura Empresarial (AE) deve abranger os componentes de uma indústria e suas áreas domínio de aplicação para estabelecer uma relação coesa entre estes componentes. A fim de desenvolver uma solução de fabricação inteligente e impulsionar uma padronização sistemática, as arquiteturas são desenvolvidas por diferentes organizações industriais e organizações de desenvolvimento de padrão internacional, dentre as principais delas:

- *ISA-95;*
- *Smart Manufacturing Ecosystem (SME);*
- *Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0);*
- *Intelligent Manufacturing System Architecture (IMSA);*
- *Industrial Value Chain Reference Architecture (IVRA);*
- *Industrial Internet Reference Architecture (IIRA).*

3.2 O Modelo ISA-95

O modelo ISA-95 é o padrão internacional desenvolvido por um Comitê ISA de especialistas voluntários para integração de sistemas corporativos e de controle. Este modelo fornece uma categorização hierárquica e modular para o fluxo de manufatura que descreve como fabricar o produto. O Padrão ISA-95 forma a base para gerenciar o processo de produção e, assim, garantir a padronização na automação do processo.

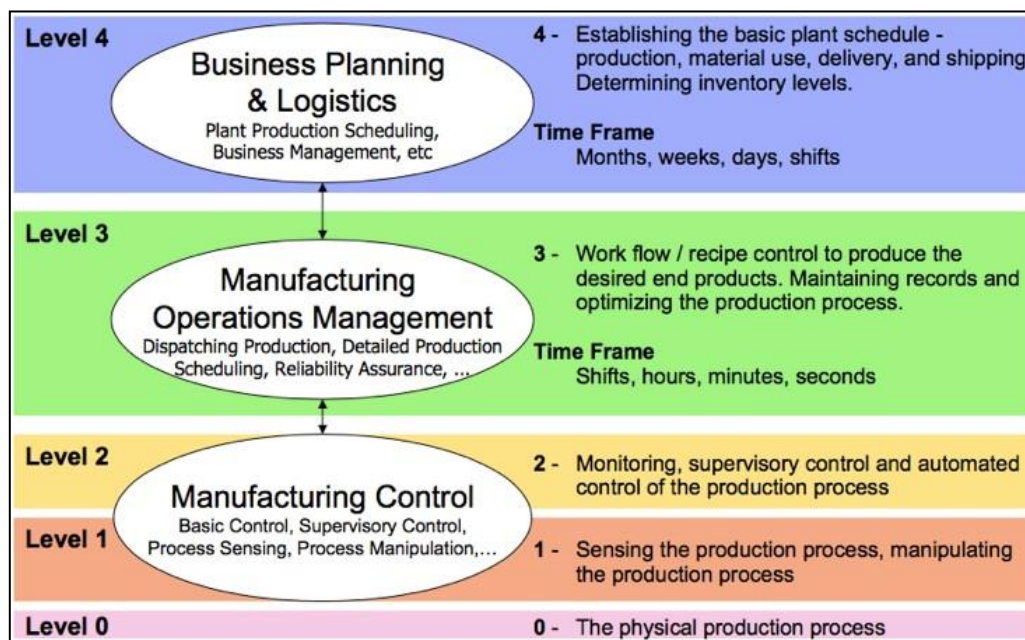
O padrão ANSI/ISA 95 apresenta os seguintes segmentos:

- ANSI/ISA 95.01-2000 “*Enterprise - Control System Integration – Part 1: Models and Terminology*”.
- ANSI-ISA 95.02-2001 “*Enterprise - Control System Integration – Part 2: Object Attributes*”.

- ANSI/ISA 95.03-2005 “Enterprise - Control System Integration – Part 3: Models of Manufacturing Operations”.
- ANSI/ISA 95.05-2007 “Enterprise - Control System Integration – Part 5: Business to Manufacturing Transactions”.

As partes 1, 2 e 5 fornecem uma visão para os modelos de informações trocadas entre sistemas de logística de negócios e sistemas de operações de fabricação. O modelo proposto pelo padrão ISA-95 orienta a uma arquitetura consolidada definindo 5 níveis de atividades em uma empresa de manufatura. Estes níveis constituem camadas em um sistema de hierarquias onde cada camada representa os elementos que compõe uma faixa organizacional.

Figura 2 – Níveis ISA-95



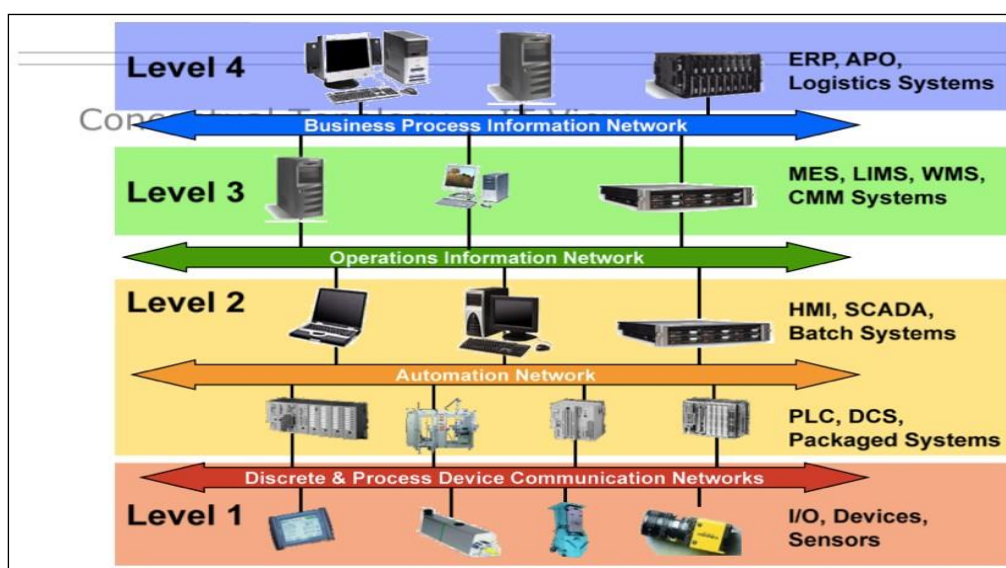
Fonte: Brandl (2008).

O Nível 0 define os processos físicos reais. Os dispositivos e sistemas de automação responsáveis pela automação do processo de manufatura são representados pelos níveis 1 e 2, onde os atuadores e sensores monitoram os equipamentos em campo no nível 1 ligados aos sistemas de controle e automação representados no nível 2 (DCS, SCADA, PLC). O nível 3 é composto por sistemas de monitoramento para gestão de operações de manufatura através do controle dos

indicadores de produtividade, qualidade e manutenção (MÊS, LIMS, WMS). Os sistemas *Enterprise Resource Planning* (ERP) são responsáveis pelo planejamento de negócios e logística de toda a cadeia produtiva.

A divisão entre níveis hierárquicos proposto por este modelo acomoda também os diversos sistemas disponíveis no mercado dentro de cada camada permitindo que sejam integrados através dos protocolos de comunicação disponíveis. A pirâmide de integração proposta pode mostrar a comunicação horizontal e vertical entre estes sistemas de uma solução de arquitetura respeitando a divisão entre as camadas de maneira que a comunicação entre os níveis aconteça de acordo com a área de domínio. Neste modelo, tem todos os sistemas comunicam-se entre si, formando-se barreiras de comunicação na topologia geral da arquitetura.

Figura 3 - Sistemas distribuídos nas camadas de hierarquias



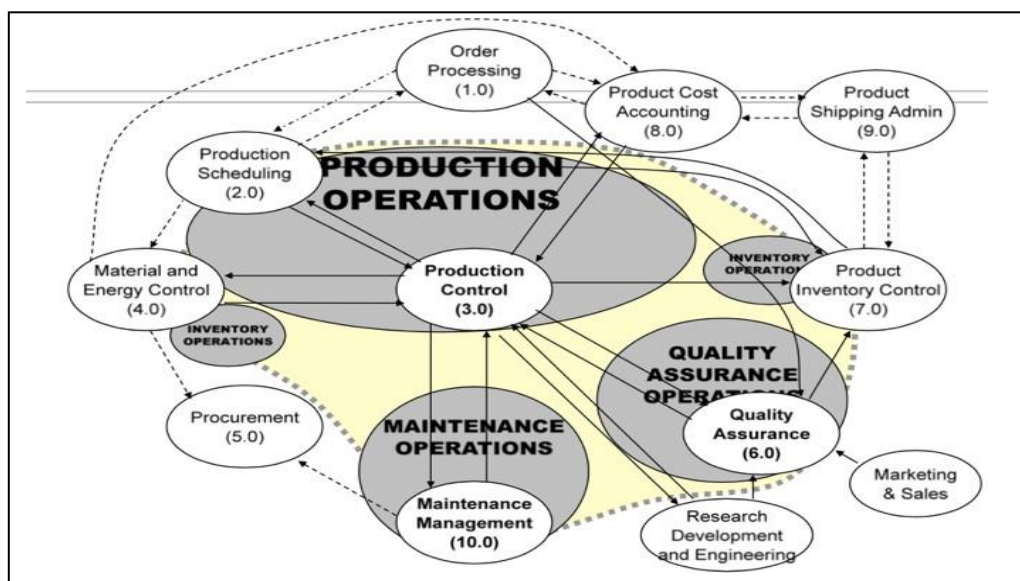
Fonte: ANSI/ISA-95.00.01 (2000).

A parte 3 da norma ISA-95 define os modelos de atividades (funções) que ocorrem nos sistemas de operação de fabricação. As funções que compõem uma solução de arquitetura estão presentes no domínio de fabricação com o intuito de adicionar características fundamentais como qualidade, segurança, confiabilidade, eficiência e conformidade ao processo de produção. A definição das funções a serem utilizadas em uma nova solução de arquitetura pode ainda colaborar de forma estratégica para a

otimização de um processo. O padrão ANSI/ISA-95 colabora com este estudo fornecendo uma visão clara das funções disponíveis para arquiteturas de automação que estão em atual funcionamento no meio industrial.

Estas funções são divididas de acordo com as áreas de domínio dentro de um processo e cada arquitetura comporta a quantidade de funções necessárias para atender sua necessidade organizacional:

Figura 4 - Funções e as relações



Fonte: ANSI/ISA-95.00.01 (2000).

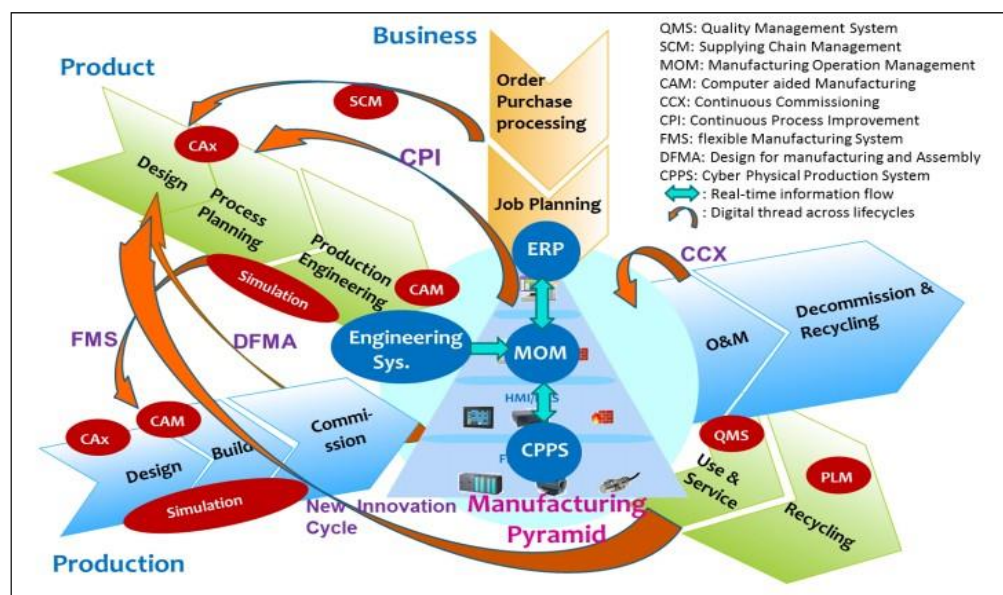
3.3 Smart Manufacturing Ecosystem (SME)

Na *Smart Manufacturing Ecosystem* (SME) apresenta uma arquitetura dividida em 3 dimensões (Produto, Sistema de Produção e Empresa) representado na Figura 5. Cada dimensão representa seu próprio ciclo de vida.

O ciclo de vida do produto está relacionado aos fluxos de informações e controles que começam no estágio inicial do projeto do produto e continuam até o fim da vida útil do produto. O ciclo de vida do sistema de produção se concentra no projeto, implantação, operação e desativação de toda uma instalação de produção, incluindo seus sistemas. O ciclo de vida da empresa aborda as funções de interações entre fornecedores e clientes.

Cada uma dessas dimensões entra em jogo na integração vertical de máquinas, plantas e sistemas corporativos no que chamamos de Pirâmide de Fabricação. A integração de aplicativos de *software* de manufatura ao longo de cada dimensão ajuda a permitir o controle avançado no chão de fábrica e a tomada de decisões ideal na fábrica e na empresa. A combinação dessas perspectivas e os sistemas que as suportam compõem o ecossistema para a fabricação de sistemas de *software*. (LU et. Al, 2015).

Figura 5 – Modelo SME



Fonte: PCAST (2014)

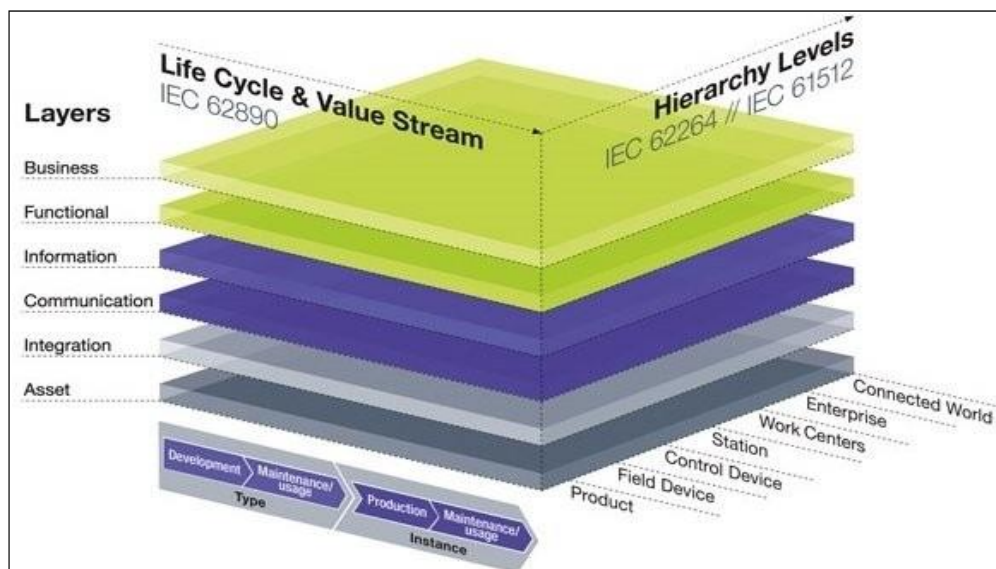
Uma maior integração dentro e entre as três dimensões resultará em mais rápido ciclos de inovação de produtos, cadeias de suprimentos mais eficientes e mais flexibilidade nos sistemas de produção. A combinação destes permite um controle ótimo da automação e da tomada de decisão, a fim de fabricar produtos de alta qualidade e altamente personalizados, em estreita sincronização com a demanda por esses bens (PCAST, 2014).

3.4 Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

A nova demanda industrial anseia por soluções que possibilitem uma integração completa entre todos os agentes que contemplam todo o fluxo de uma cadeia de valor. Estas soluções devem permitir a integração eficiente entre tecnologias de automação (TA) e tecnologias de informação (TI). Dados do cliente final devem estar presentes nos equipamentos e fluxos produtivos de forma que os componentes e máquinas tenham autonomia para gerenciar de forma flexível, eficiente e com economia de recursos um processo em tempo real.

São pré-requisitos para esta transformação digital, a evolução das atuais estruturas de comunicação entre os sistemas e o desenvolvimento de uma linguagem comum entre os sinais, as informações e até a cultura organizacional. O modelo referencial de arquitetura RAMI 4.0 é um mapa tridimensional com a proposta de orientar de forma estruturada servindo como padrão para as novas soluções e demandas de conectividade entre todos os componentes de uma arquitetura. Este modelo foi apresentado na feira de Hannover Messe (2015) e utiliza as normas IEC 62264//IEC 61512 e IEC 62890 estabelecendo uma relação direta entre os níveis hierárquicos da ISA 95 e ISA 88 com o padrão de ciclo de vida de um produto ou valor.

Figura 6 - RAMI 4.0



Fonte: Zvei et al (2015).

A relação tridimensional orientada pelo modelo RAMI 4.0 faz uma relação entre as faces de hierarquias, arquitetura e o ciclo de vida e um produto. Desta forma o modelo procura garantir a todos os participantes envolvidos em uma solução de arquitetura integração em uma base comum. Este padrão propõe a conexão vertical da informação de toda arquitetura desde o nível do sensor até ao nível de gestão de negócios. O modelo RAMI 4.0 auxilia também na integração entre as funções e os sistemas existentes em uma arquitetura permitindo que soluções mais inteligentes sejam estrategicamente pensadas para suprir as necessidades de conectividade e integração de uma planta. As funções integradas em uma base comum poderão tornar as plataformas mais automatizadas e totalmente descentralizadas.

Os três eixos presentes nas dimensões deste modelo orientam toda a integração necessária em uma nova arquitetura. O eixo da hierarquia define o modelo de interconexão de todos os elementos da produção, incluindo informações, pessoas e máquinas. Nesta proposta de arquitetura contempla sistemas e máquinas flexíveis, onde os componentes interagem entre os níveis hierárquicos com funções distribuídas em toda a rede.

O eixo vertical da arquitetura define a verticalização das informações, suas interfaces, interpelações e uso. Este eixo é composto por 6 camadas de integração responsáveis por fazer esta relação entre todos os componentes, conforme figura 7.

Figura 7 - Camadas do RAMI 4.0



Fonte: Zvei et al (2015).

- Camada de negócios: A primeira camada descreve a visão comercial da linha com vários conceitos usados na área comercial. Descreve a cultura organizacional da empresa com os modelos de negócios, controle financeiro e setor jurídico.
- Camada de Funções: A camada de funções descreve as funções técnicas e lógicas para as funções a serem seguidas.
- Camada de Informações: A camada de informações descreve todas informações contidas, sejam elas informações de tempo real, como dados de produção, ou como informações de regras ou regimento interno da linha.
- Camada de Comunicação: A camada de comunicações descreve os padrões de dados a serem seguidos para a padronização da indústria 4.0.
- Camada de Integração: A camada de integração descreve a aquisição e digitalização de informações, ou seja, a transformação de dados da natureza para grandezas físicas mensuráveis por meio da digitalização das informações. Exemplo de equipamentos representados na camada de integração são: CLP, sensores, Atuadores e etc.
- Camada de Ativos: A camada de ativos representa os elementos físicos existentes, como um equipamento ou produto da linha, algo que serve como base de informações para outros elementos ou funções.

O eixo do ciclo de vida (*Life cycle*) e o fluxo de valor (*Value cycle*) de um produto define o ciclo de vida do produto, da pesquisa e desenvolvimento, até a sua assistência técnica.

3.4.1 A importância do uso do modelo referencial (RAMI 4.0)

O RAMI 4.0 é um modelo de referência em arquiteturas de sistemas de automação com uma proposta clara em orientar implantações de novos sistemas aos conceitos a Indústria 4.0. Este modelo tem entre seus objetivos fazer uma relação direta entre a conexão vertical da informação dentro de uma plataforma, a comunicação

horizontal de produção para tomada de decisões e as normas atuais como referência em projetos e aplicações.

O desenvolvimento de soluções para Indústria 4.0, principalmente sendo demandada pelos usuários, novos dispositivos cada vez mais inteligentes e plataformas integráveis, a busca por padronização e respostas rápidas em implantações, levam a criação de modelos e normas, capazes de facilitar o uso e aplicação da tecnologia, o RAMI é este caso (VENTURELLI, MÁRCIO 2017).

O uso do modelo RAMI 4.0 como referência, possui grandes benefícios quando pensado para orientação e desenvolvimentos voltados para atender a Indústria 4.0 uma vez que este modelo recente foi concebido com o intuito de ajudar a padronizar estes novos conceitos. Dentre os benefícios propostos pelo RAMI 4.0, é interessante citar alguns dele:

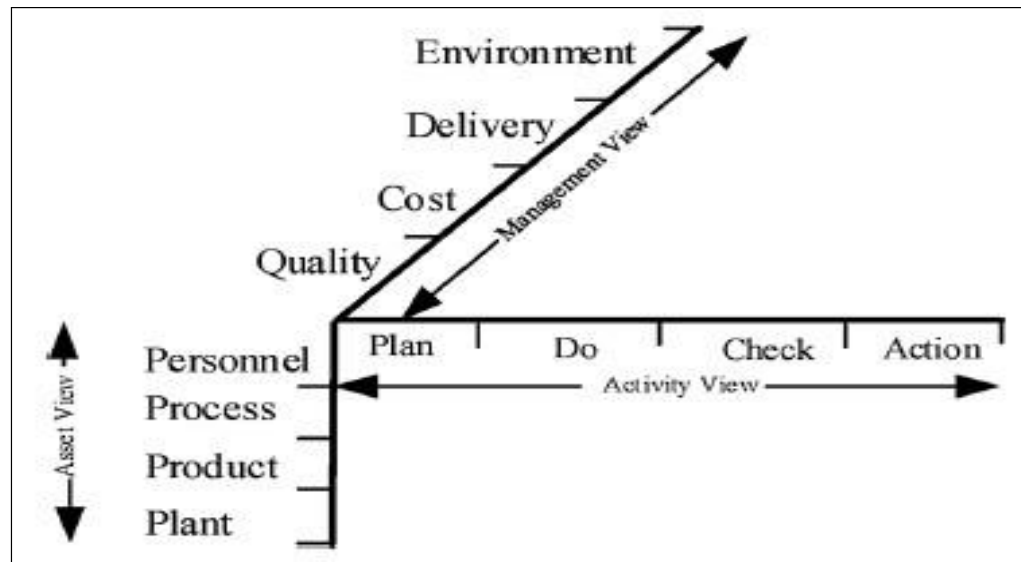
- Fornece uma estrutura e linguagens comuns para a descrição e especificação uniformes das arquiteturas do sistema;
- Fornece uma ontologia da Indústria 4.0, uma gramática e semântica para as arquiteturas;
- Conjuntos de dispositivos conectados formando uma semântica de informações e controle alinhando todas as camadas na mesma base de informação – Comunicação Vertical;
- Células de produção trabalhando de forma flexível, interoperável e descentralizada – Comunicação Horizontal;
- Combinação dos componentes de TI em cada camada integrados aos componentes de TA;
- Arquitetura Orientada a Serviços (SOA).

O modelo RAMI 4.0 pode ser aplicado dentro dos projetos de sistemas para indústria 4.0 para interconectar todos os agentes da arquitetura de forma descentralizada com possibilidade de configuração destes elementos para que seja interoperável no auxílio às tomadas de decisões e flexível para possibilitar a melhor customização e personalização da arquitetura.

3.5 Intelligent Manufacturing System Architecture (IVRA)

A *Intelligent Manufacturing System Architecture* (IVRA) observa unidades de fabricação inteligentes a partir de 3 visualizações (LI, QING et al.,2018), como mostra a figura 8.

Figura 8 - Modelo Intelligent Manufacturing System Architecture



Fonte: Ministry of Industry and Information Technology of China (2015)

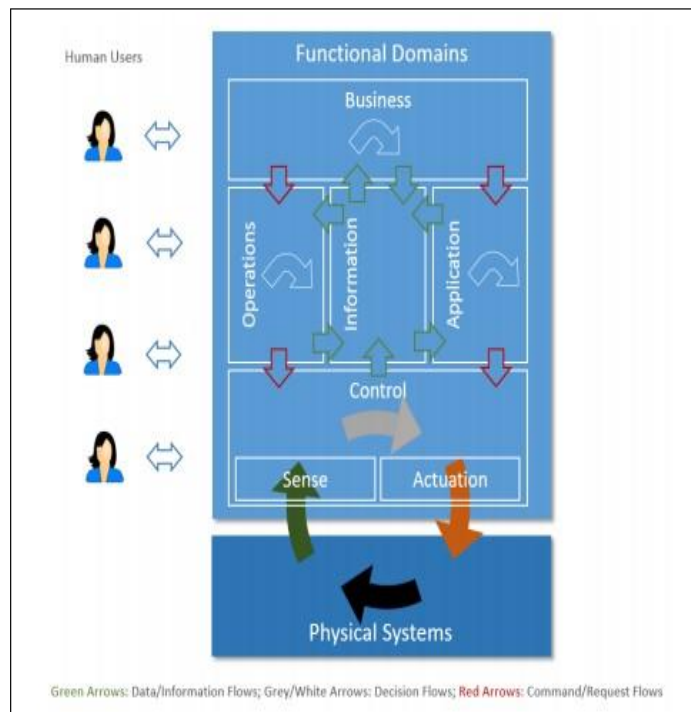
- **Asset View:** A exibição mostra ativos valiosos para empresas de manufatura. Quatro classes de ativos (pessoal, processo, produto e fábrica) são diferenciadas.
- **Activity View:** A visão de atividade é composta pelo ciclo de “Planejamento”, “Fazer”, “Verificar” e “Ação”, que é a metodologia central da gestão da qualidade total e melhoria contínua do processo de negócios.
- **Managment View:** A visão de gerenciamento mostra os alvos do gerenciamento. Qualidade, custo, precisão de entrega e ambiente estão incluídos.

No entanto com a IVRA, não se pode ver tecnologia detalhada relacionada à fabricação inteligente. A arquitetura indica que uma empresa de manufatura deve integrar pessoal, processo, produto e planta, que são objetos de gestão empresarial.

3.6 Industrial Internet Reference Architecture (IIIRA)

A *Industrial Internet Reference Architecture* (IIIRA) divide a arquitetura de automação em 5 principais camadas (LI, QING et al., 2018), como mostra a figura 9:

Figura 9 - Arquitetura (IIIRA)



Fonte: LI, Qing et al. (2018).

- Camada de negócios: funções que permitem operações de ponta a ponta de um sistema industrial (por exemplo, planejamento de recursos empresariais, gerenciamento de ciclo de vida, planejamento e programação);
- Camada de aplicativo: funções que habilitam as funcionalidades de negócios através da implementação de lógicas de aplicativos (atividades/fluxos de trabalho, interface de programação de aplicativos, interface do usuário);
- Camada de informações: funções que suportam a disponibilização e a implantação de dados (por exemplo, coleta e armazenamento de dados, semântica, processamento de qualidade);
- Camada de operações: operam componentes ao longo do seu ciclo de vida (provisionamento, implantação, monitoramento, diagnóstico, otimização);

- Camada de controle: Funções que permitem o controle de um sistema industrial (por exemplo, detecção e atuação, comunicação, abstração, virtualização, análise, gerenciamento de ativos).

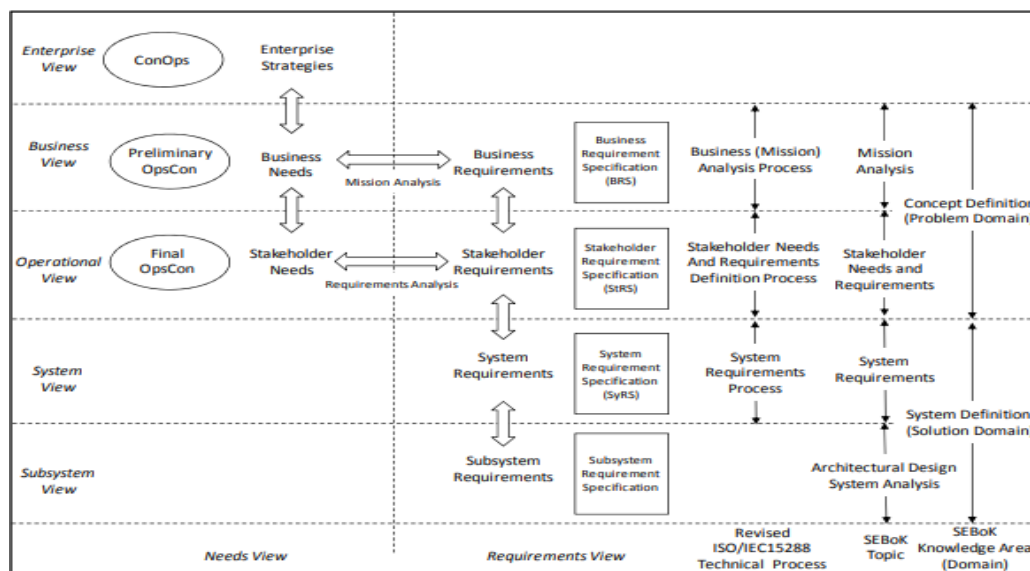
3.7 Requisitos de Sistemas de Automação

Uma declaração que identifica uma característica ou restrição de sistema, produto ou processo, que é inequívoca, clara, única, consistente, autônoma (não agrupada) e verificável, e é considerada necessária para a aceitação das partes interessadas. Requisitos são declarações estruturadas formais que podem ser verificadas e validadas, podendo haver mais de um requisito para cada necessidade.

Os requisitos podem ser classificados em dois tipos principais: requisitos funcionais e requisitos não funcionais. O primeiro envolve aspectos do sistema relacionados à sua funcionalidade (funções que o sistema deve executar), como requisitos de controle. Estes últimos incluem aspectos operacionais relacionados com o desempenho do sistema e tempo de execução das tarefas.

Os requisitos do sistema de automação industrial podem ser representados em 4 principais (RYAN,2013) como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Requisitos do sistema em automação industrial



Fonte: Ryan (2013).

Os requisitos de negócios (*Business Requirements*) regem o projeto, incluindo restrições de contrato, padrões de qualidade e restrições de custo e cronograma. Os requisitos de negócios podem ser capturados em uma BRS (*Business Requirements Specification*), especificação de requisitos de negócios, que é aprovada pela nota de liderança empresarial: os requisitos de negócios nem sempre podem ser formalmente capturados no ciclo de vida do sistema. Geralmente, é útil especificar os requisitos de negócios como parte do processo de análise de negócios e missão.

Os Requisitos de diversos *stakeholder* (*Stakeholder Requirements*) que irão governar o projeto, incluindo os recursos, funções e/ou serviços necessários do sistema; padrões de qualidade; restrições do sistema; e restrições de custo e cronograma. Os requisitos das partes interessadas podem ser capturados na Especificação de Requisitos de *Stakeholder* (StRS).

Os requisitos de sistemas definem o que o sistema precisa fazer, quão bem e sob quais condições, conforme necessário para atender às restrições de projeto e design. Inclui tipos de requisitos como funcional, desempenho, interface, comportamento (por exemplo, estados e modos, respostas a estímulos, falhas e manuseio de falhas), condições operacionais (por exemplo, segurança, confiabilidade, fatores humanos, condições ambientais), transporte, armazenamento, restrições, realização, integração, verificação, validação, produção, manutenção, restrições de descarte e regulamentação. Estes requisitos podem ser capturados em um documento chamado *System Requirements Specification* (SyRS) ou apenas *System Specification*. Isso inclui os requisitos em qualquer nível na hierarquia do sistema. Os requisitos dos stakeholders são então transformados pelos engenheiros de requisitos em requisitos do sistema.

Os requisitos dos elementos do sistema têm como finalidade transformar a visão orientada para o usuário e a parte interessada dos recursos desejados em uma visão técnica de uma solução que atenda às necessidades operacionais do usuário.

3.8 Procedimento de Modelagem

Um modelo é uma concepção abstrata e não ambígua de algo no mundo real. Dependendo do seu objetivo, um modelo foca certos aspectos ou elementos específicos e ignora outros (LANKHORST, 2012). Em The Open Group (2011) e The Open Group (2013), por sua vez, modelo é definido como uma representação de um assunto de interesse, em escala menor, simplificada e/ou abstrata do assunto tratado, construído como um “meio para um fim”. A norma ISO/IEC/IEEE 42010 (ISO, 2011) destaca que diferentes comunidades empregam o termo modelo de formas distintas. No contexto dessa norma, “M é um modelo de S, se M pode ser usado para responder questões acerca de S”. Ainda segundo essa norma, cada modelo pode ser, por exemplo, um conceito (um modelo mental), ou um produto do trabalho. Os autores Souza et al. (2002) destacam que modelos são simplificações da realidade, que servem como filtros de informações irrelevantes e podem viabilizar o tratamento de assuntos complexos.

No contexto de arquiteturas, Rozanski et al.(2011) consideram que um modelo é uma representação simplificada ou abstrata de um aspecto de uma arquitetura, e visa comunicar esse aspecto a stakeholders. Segundo Lankhorst (2012), modelos de arquitetura são criados para comunicar algo aos leitores do modelo, ou entre pessoas que participam da construção do modelo. Na construção de modelos, os participantes introduzem, concordam e se comprometem com representações do conhecimento. Lankhorst (2012) afirma que modelos não são os únicos produtos do processo de modelagem, e destaca as transformações nos conhecimentos, acordos e compromissos nas mentes das pessoas envolvidas nesse processo. Observa que os processos de modelagem são frequentemente interativos e iterativos, e incluem atividades como: estabelecimento de propósito, escopo e foco; seleção de pontos de vista; construção e estruturação de modelos; visualização de modelos; uso de modelos para comunicação com stakeholders; e manutenção de modelos.

Duarte (2011) destaca que os modelos podem variar quanto aos objetivos, apresentações, conteúdos, detalhamento e linguagens. Quanto ao objetivo, é descritivo

se descreve o que existe e considera-se prescritivo e descrevendo estados desejados. Quanto à apresentação, pode ser textual, gráfico ou fórmula. Quanto ao conteúdo, pode ser estático ou dinâmico. Quanto ao nível de detalhe, pode ser conceitual ou técnico e quanto à linguagem, pode ser não formal, semiformal ou formal. Segundo Souza et al. (2002), existem variadas alternativas para a construção de modelos, desde a rica e informal linguagem natural humana, até a formal e precisa matemática.

Lankhorst (2012) destaca que o ato de modelar inclui atividades que visam representar o modelo por meio de alguma linguagem e meio. Uma linguagem de modelagem normalmente inclui elementos de modelagem, uma notação visual para apresentação dos elementos e sugestões de como usar a linguagem. Não é necessário, entretanto, que todas as informações de um modelo sejam representadas em diagramas. Algumas dessas informações podem estar em textos, tabelas, gráficos etc. As sintaxes e semântica das linguagens de modelagem tipicamente possibilitam a construção de modelos de forma mais precisa do que uma linguagem natural. Para facilitar o entendimento dos modelos e a comunicação dos componentes do sistema, as notações geralmente são simples, com abstrações visuais.

O termo “linguagem para a descrição de arquitetura” (Architecture Description Language) é empregado em comunidades variadas (ISO, 2011). Na arquitetura de software, as linguagens para descrição de arquiteturas suportam criação, refino e validação de arquiteturas; representação de estilos de arquitetura; diferentes visões de arquitetura; análise de arquiteturas; e comunicação da arquitetura entre stakeholders (BASS et al., 2012; CLEMENTS, 1995; GARLAN et al., 2002).

Rozanski et al. (2011) destacam a existência de várias linguagens para descrição de arquiteturas, mas observam que a maioria se encontra no campo das pesquisas, embora os arquitetos precisem expressar arquiteturas para o seu entendimento e para a comunicação com stakeholders,

Lankhorst (2012) afirma que ainda não existe uma linguagem padrão para descrição precisa de arquiteturas em diferentes domínios. Os arquitetos em diferentes domínios tendem a empregar suas próprias técnicas e convenções na descrição de arquiteturas.

Khoury (2007) destaca que, embora existam muitas linguagens para a modelagem de sistemas, poucas têm o poder semântico necessário ao uso em domínios diversos. Além disso, a complexidade de algumas dessas linguagens torna impraticável seu emprego em aplicações comerciais. Em decorrência disso, são frequentemente empregadas várias linguagens na descrição de uma arquitetura, inclusive linguagens informais de modelagem. Para Khoury (2007), na modelagem de empresas, o uso de várias linguagens aumenta a probabilidade dos modelos serem incompletos, inconsistentes e difíceis de entender.

3.8.1 UML - Unified Modeling Language

A Unified Modeling Language (UML) é uma linguagem de modelagem padronizada para análise, desenho (design) e implementação de sistemas de software, bem como para modelagem de negócios e processos similares (OMG, 2011). A UML representa uma coleção das melhores práticas de engenharia que se mostraram bem-sucedidas na modelagem de sistemas grandes e complexos e é uma parte muito importante do desenvolvimento de software orientado a objetos. Os diagramas podem prover diferentes perspectivas de um sistema e podem ser usados com outros documentos em um modelo. A UML define os diagramas para três categorias em sua estrutura de linguagem: Diagramas de Estrutura, Diagramas de Comportamento e Diagramas de Atividade.

3.8.2 Ferramenta de Modelagem - ArchiMate

A linguagem ArchiMate desenvolvida pelo Open Group Standard, é uma linguagem de modelagem aberta e independente para representar uma arquitetura empresarial. Esta notação é um padrão baseado nos conceitos da norma IEEE 1471 e permite uma especificação mais precisa utilizando descrição mais detalhada dos componentes que compõe uma arquitetura e suas relações que possibilitam uma

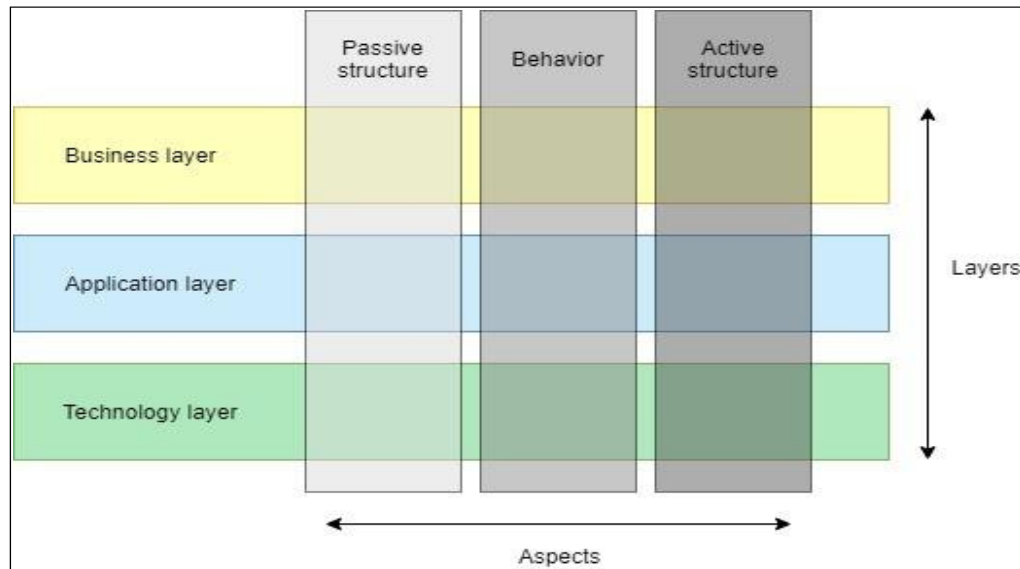
melhor visualização do alinhamento entre as camadas de abstração dentro de uma arquitetura (negócios, sistemas e infraestrutura).

O ArchiMate oferece uma linguagem comum para descrever o desenvolvimento e operação de processos de negócios, estruturas organizacionais, fluxos de informações, sistemas de tecnologias de informação e infraestrutura técnica. O uso desta linguagem para modelagem da arquitetura empresarial pode ainda auxiliar sendo um relevante suporte para as tomadas de decisões e alterações dentro e entre esses domínios de negócios. Para Lankhorst (2012) e Wierda (2013), em uma linguagem de modelagem, essa especificação precisa dos componentes e relações, que estão disponíveis ao arquiteto, é formalizada por aquilo que é denominado o “metamodelo” da linguagem. A linguagem complementa o *framework* TOGAF (THE OPEN GROUP, 2012). O *the open group* (2012) divide a arquitetura corporativa em três camadas principais, sendo elas as camadas de negócios, aplicativos e tecnologia.

- Camada de Negócios: Essa camada modela a estrutura de planta e os serviços que ela produz, funções de negócios, processos e objetos de negócios, como produtos e contratos.
- Camada de Aplicação: suporta a camada de negócios, com serviços realizados pelas aplicações de software. Descreve os componentes de aplicação e suas interações, entidades de dados de lógicas, seus relacionamentos e os serviços oferecidos para a camada superior (negócios).
- Camada de Tecnologia: Modela os sistemas de *hardware* e *software* e as redes de conexão, mostrando como eles traduzem-se em serviços fornecidos para a camada superior (aplicativo). Oferece os serviços de infraestrutura tecnológica (por exemplo, processamento, armazenamento e serviços de comunicação) necessários para executar os aplicativos realizados por computador, além do *hardware* e o *software* de comunicação do sistema.

Em cada camada, três aspectos são considerados: elementos ativos, uma estrutura interna e elementos que definem o uso ou comunicam informações. Um dos objetivos da linguagem ArchiMate é definir as relações entre conceitos em diferentes domínios da arquitetura.

Figura 11 - Interface do ArchiMate



Fonte: The Open Group, 2012.

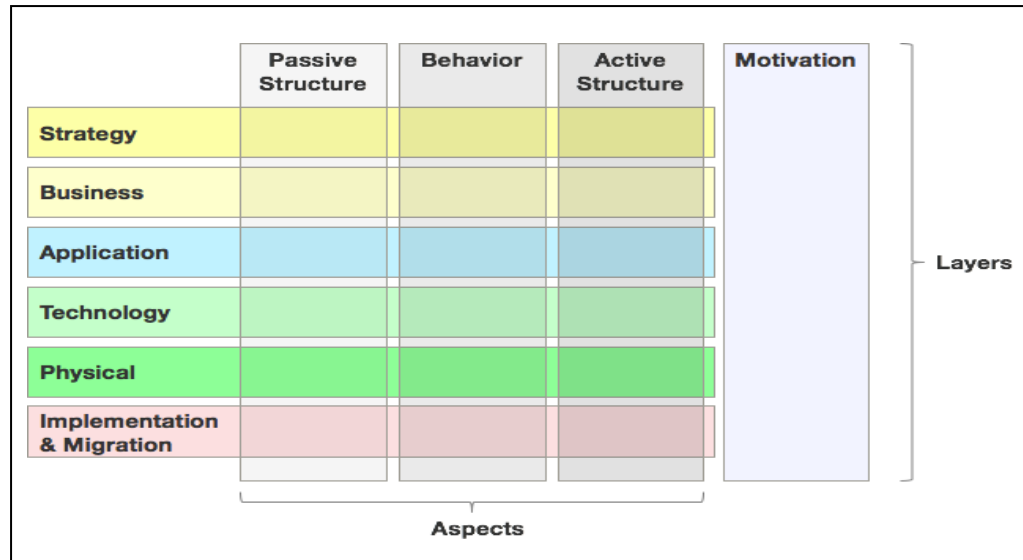
Outro ponto importante destacado por Lankhorst (2012) está no conceito serviço dentro do ArchiMate. A orientação a serviço leva a uma ordenação dos modelos em camadas, onde serviços em uma camada podem ser prestados a outras camadas, e onde podem existir serviços internos às camadas.

Em uma versão ampliada o ArchiMate recebeu camadas adicionais complementando os diferentes domínios dentro de uma planta empresarial.

- A Camada Física foi adicionada para permitir a modelagem de “equipamentos físicos, materiais e redes de distribuição” e não estava presente na versão anterior.
- A Camada de Implementação e Migração adiciona elementos que permitem aos arquitetos modelar um estado de transição, para marcar partes da arquitetura que são temporárias para o propósito.
- A Camada de estratégia adiciona três elementos: recurso, capacidade e curso de ação. Esses elementos ajudam a incorporar a dimensão estratégica à linguagem ArchiMate, permitindo retratar o uso de recursos e capacidades para alcançar alguns objetivos estratégicos.

- A Camada Motivação que permite que diferentes partes interessadas descrevam a motivação de atores ou domínios específicos, o que pode ser bastante importante quando se olha algo em vários ângulos diferentes. Acrescenta vários elementos como *stakeholder*, *value*, *driver*, *goal*, *meaning* etc.

Figura 12 - Camadas e aspectos do ArchiMate



Fonte: The Open Group, 2012.

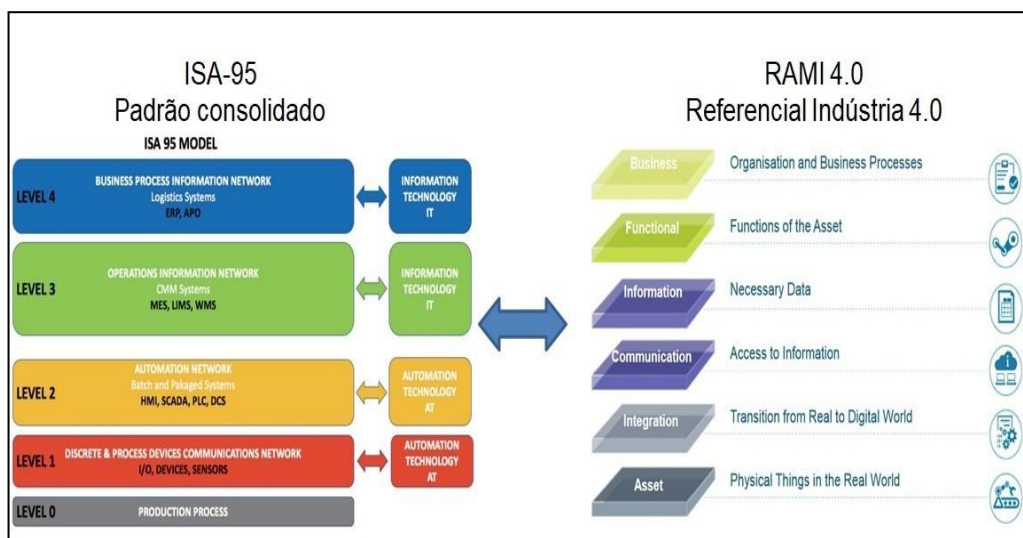
3.9 Consideração e Síntese do Capítulo

Através da revisão da literatura realizada no passo anterior é possível se ter uma visão geral sobre o conceito de arquiteturas de automação. Foi possível compreender que o conceito de arquiteturas de automação visa a padronização através de um modelo hierárquico capaz de relacionar os diversos sistemas existentes a fim de realizar a comunicação e integração entre todos os elementos em uma plataforma de automação.

O capítulo também possibilitou entender o padrão (ISA-95) já consolidado para a realização de uma arquitetura com os diversos sistemas de gestão tanto no sentido do controle de produção até os sistemas de gestão empresarial. O padrão pode ser um suporte a esta pesquisa servindo como uma base referencial na identificação dos

principais elementos de uma arquitetura. O novo referencial RAMI 4.0 apresenta os conceitos de automação com uma visão para a padronização da indústria 4.0 e sua forma de camadas pode ser correlacionada com o padrão já conhecido da indústria também orientado pela ISA-95. Na figura 13 é exibido uma relação entre o padrão consolidado da ISA-95 e o modelo referencial RAMI 4.0 demonstrando uma clara integração entre as camadas existentes em cada modelo sugerido.

Figura 13 - Relação entre as arquiteturas



Fonte: Zvei et al. (2015) adaptado.

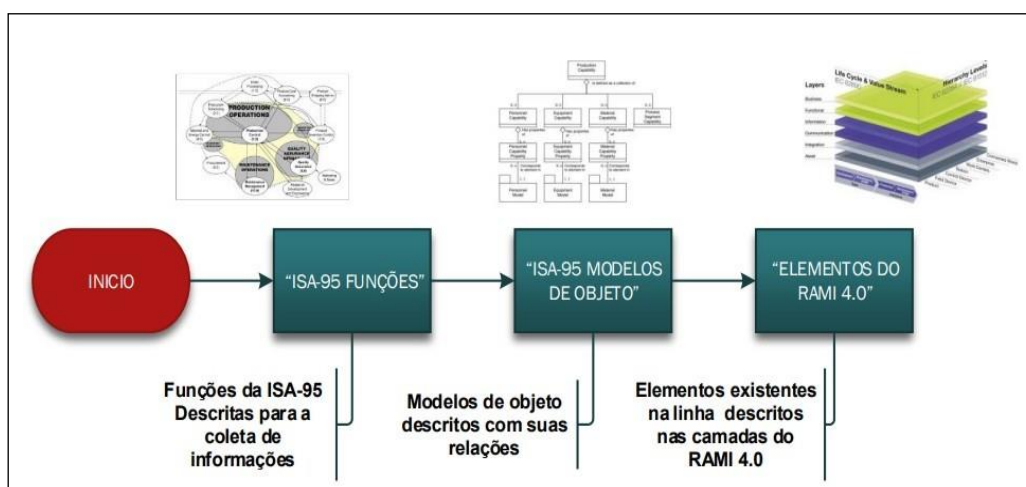
4 INSTRUMENTO DE COLETA E PROCEDIMENTO DE MODELAGEM

4.1 Instrumento de Coleta

Para representar melhor as arquiteturas empresariais existentes no cenário atual será necessária realizar coletas de dados estruturadas, com o objetivo de levantar as principais informações essenciais para a modelagem de uma arquitetura empresarial. O instrumento de coleta proposto consiste em módulos de avaliação para a checagem de dados existentes em uma planta de manufatura. Para a aquisição e checagem dos dados é necessário realizar através de entrevista a especialistas de tecnologia da planta a ser analisada, afim de obter a arquitetura modelada.

Os módulos de avaliação foram criados com base nos estudos realizados da norma ANSI/ISA-95 e do referencial de arquitetura RAMI 4.0. A norma ANSI/ISA-95 fornece todos os pontos importantes para se organizar um sistema de manufatura, através dela é possível seguir um fluxo de funções que guia no processo de estruturação. Esse fluxo de funções é descrito pela figura 4. A estrutura do instrumento de coleta está descrita através do fluxograma da figura 14, onde é possível visualizar cada módulo de avaliação se relacionando em sequência. A sequência de cada um dos instrumentos de coleta é importante, pois os módulos de avaliação seguintes dependem de informações coletadas anteriormente.

Figura 14 – Estrutura do Instrumento de coleta



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O Fluxograma mostra que o primeiro modulo de avaliação é o “ISA-95 FUNÇÕES”, e este modulo está detalhado dentro do capítulo 4.1.1, onde nele é listado as funções existentes na norma para realizar a avaliação. Após a avaliação das funções existentes é analisado as relações entre as funções analisadas através da tabela de referência cruzada “Tabela 1” que também é um artifício que a norma ISA-95 indica como chegar aos modelos de objeto orientado às relações entre as funções.

O segundo modulo de avaliação chamado de “ISA-95 MODELOS DE OBJETO” que está descrito em sua totalidade no capítulo 4.1.2. Neste modulo de avaliação somente os modelos de objeto que foram encontrados na relação entre as funções a partir da tabela 1, pois nem todos os modelos de objeto advém das relações entre as funções já descritas no módulo de avaliação anterior. Após a avaliação dos elementos dos modelos de objeto, os elementos de cada modelo de objeto são distribuídos em cada camada do módulo de avaliação “ELEMENTOS DO RAMI 4.0”. A distribuição de cada elemento dentro da sua camada correspondente depende da descrição do elemento, e cada elemento tem a sua característica descrita dentro da norma, fazendo assim com que a distribuição seja dirigida através da norma.

O terceiro módulo de avaliação descreve os modelos de objeto descrito no módulo de avaliação anterior distribuídos dentro das 6 camadas do RAMI 4.0, além de descrever uma série de equipamentos, tecnologias, protocolos e informações distribuídos dentro de quatro categorias sendo elas classificadas como Infraestrutura, Tecnologia, Sistemas e Informações. Após a avaliação de todos os módulos de avaliação os seus dados servem de informações para realizar a modelagem da arquitetura.

4.1.1 Módulo de Avaliação “ISA-95 Funções”

No módulo de avaliação funções é possível observar na figura 14, as 12 funções listadas abaixo da coluna “Funções”. Estas funções descrevem uma formação estrutural, que através dela é possível descrever diversos processos dentro de um sistema de produção.

A função de processamento de pedidos descreve o pedido de compras, as expectativas de venda e ordens de produção. A função de programação de produção interage com o controle de produção através de cronograma de produção, com as informações atuais da produção e com a capacidade de produção da linha. A função controle de produção descreve os processos usados no controle de fabricação, como controle de matérias-primas que são transformados em produto, além dos dados de produção, teste de qualidade. A função de controle de material e energia descreve o controle de estoque, equipamentos, materiais e notifica as outras funções para a remanejoamento ou compra. A função de compras tem a função de disponibilizar as quantidades que faltam de matéria-prima, equipamentos, ferramentas e outros materiais requisitados pelo controle de produção. A função de controle de qualidade certifica os materiais a serem utilizados através de testes e qualificação, padronização dos materiais além de analisar a qualidade do teste empregado ou a certificação utilizada, afim de prover a melhor uma melhor qualidade para o produto a ser fabricado. A função de controle de estoque descreve o gerenciamento dos produtos finalizados, produtos danificados bem como reportar a programação da produção suas informações. A função de contabilidade de custos tem de apontar os custos totais envolvidos no produto, bem como calcular os custos de material, energia, logística, trabalho e outros custos. A função gestão da manutenção descreve os métodos de manutenção corretiva, manutenção preventiva e detectiva, identifica materiais, equipamentos e trabalhadores para a execução do processo. A função de expedição de produtos descreve a ordem de transporte dos produtos finalizados de acordo com os pedidos de produção. Participa da negociação com as empresas de transporte, prepara os documentos para o envio e reporta os custos de transporte para a contabilidade. A função de pesquisa, desenvolvimento e engenharia descreve o desenvolvimento de novos produtos e a definição dos processos e materiais de fabricação dos produtos. A função de marketing e vendas descreve os planos de venda, planos de marketing. Na coluna Estado atual deve-se inserir um X para se obter as funções existentes para a realização da modelagem da arquitetura.

Figura 15 - Módulo de avaliação "ISA-95 Funções"

Módulo de avaliação	N.	1
ISA-95	Versão	v1
Funções	Data:	11/06/2019
Identificar os Processos/Equipamentos abaixo e se identificado, insira X na coluna "Estado atual"		
	Estado atual	
Funções		
Processamento de pedidos		
Programação da produção		
Controle de produção		
Controle de material e energia		
Compras		
Controle de qualidade		
Controle de estoque de pedidos		
Contabilidade de Custos		
Gestão da manutenção		
Expedição de produtos		
Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia		
Marketing e Vendas		

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Após a avaliação das funções anteriores, as informações são analisadas. A tabela 1 descreve todos os cruzamentos das funções descritas nas colunas “*From function*” e “*To function*”, e fornece os modelos de objeto na coluna “*Object model clause*”. O resultado de todos cruzamentos entre as funções fornece os modelos de objeto a serem analisados para a modelagem de arquitetura.

Através da aquisição dos resultados obtidos através da tabela 1, os modelos de objeto identificados são descritos para o segundo módulo de avaliação chamada de “ISA-95 modelos de objeto” onde os conjuntos de elementos de cada modelo de objeto são descritos e que caberá ao usuário analisar se o elemento descrito pela norma ISA-95 está presente em sua plataforma em análise. O usuário que insere os dados sobre as funções não entra em contato com a tabela 1, ele já recebe automaticamente os resultados dos modelos de objeto somente para a avaliação dos elementos.

4.1.1.1 ISA-95: Identificação das Funções Existentes

A tabela a seguir apresenta todas as funções orientadas para as arquiteturas a partir do modelo padrão ISA-95. Nesta tabela é possível identificar a existência das

funções existentes neste estudo de caso e ainda consultar os modelos de objetos orientados ao atendimento destas funções relacionadas, conforme identificação na tabela:

Tabela 1 - Tabela de cruzamento entre funções

Data Flow Model Information	From Function	To Function	Object Model clause
6.2.1 Schedule	Production scheduling (2.0)	Production control (3.0)	7.5.1 and 7.5.2
6.2.2 Production from plan	Production control (3.0)	Production scheduling (2.0)	7.5.3 and 7.5.4
6.2.3 Production capability	Production control (3.0)	Production scheduling (2.0)	7.3
6.2.4 Material and energy requirements	Production control (3.0)		Defined in terms of the Material Model, 7.3.4
6.2.5 Incoming order confirmation	Material and energy control (4.0)	Procurement (5.0)	Defined in terms of the Material Model, 7.3.4
6.2.6 Long-term material and energy requirements	Production scheduling (2.0)	Material and energy control (4.0)	Defined in terms of the Material Model, 7.3.4
6.2.7 Short-term material and energy requirements	Production control (3.0)	Material and energy control (4.0)	Defined in terms of the Material Model, 7.3.4
6.2.8 Material and energy inventory	Material and energy control (4.0)	Production control (3.0)	7.3.4
6.2.9 Production cost objectives	Product cost accounting (8.0)	Production control (3.0)	7.4
6.2.10 Production performance and costs	Production control (3.0)	Product cost accounting (8.0)	7.5.3 and 7.5.4
6.2.11 Incoming material and energy receipt	Material and energy control (4.0)	Product inventory control (7.0)	<Not detailed in object model>
6.2.12 Quality assurance results	Quality assurance (6.0)	Production control (3.0)	7.3.4.9 and 7.5.4
6.2.13 Standards and customer requirements	Marketing and sales	Quality assurance (6.0)	7.3 and 7.5.2
6.2.14 Product and process requirements	Research, development, and engineering	Quality assurance (6.0)	7.4
6.2.15 Finished goods waiver	Functions Order processing (1.0)	Quality assurance (6.0)	<Not detailed in object model>
6.2.16 In-process waiver request	Production control (3.0)	Quality assurance (6.0)	Defined in terms of the Material Model, 7.3.4
6.2.17 Finished goods inventory	Product inventory control (7.0)	Production scheduling (2.0)	7.3.4 and 7.5.4
6.2.18 Process data	Production control (3.0)	Quality assurance (6.0)	7.5.3 and 7.5.4
6.2.19 Pack out schedule	Production scheduling (2.0)	Product inventory control (7.0)	7.5.2
6.2.20 Product and process know-how	Research, development, and engineering	Production control (3.0)	7.4

6.2.21 Product and process information request	Production control (3.0)	Research, development, and engineering	<Not detailed in object model>
6.2.22 Maintenance requests	Production control (3.0)	Maintenance management (10.0)	7.3.3
6.2.23 Maintenance responses	Maintenance management (10.0)	Production control (3.0)	7.3.3
6.2.24 Maintenance standards and methods	Production control (3.0)	Maintenance management (10.0)	<Not detailed in object model>
6.2.25 Maintenance technical feedback	Maintenance management (10.0)	Production control (3.0)	7.1.1 and 7.3
6.2.26 Product and process technical feedback	Production control (3.0)	Research, development, and engineering	<Not detailed in object model>
6.2.27 Maintenance purchase order requirements	Maintenance management (10.0)	Procurement (5.0)	<Not detailed in object model>
6.2.28 Production order	Functions Order processing (1.0)	Production scheduling (2.0)	<Not detailed in object model>
6.2.29 Availability	Production scheduling (2.0)	Functions order processing (1.0)	<Not detailed in object model>
6.2.30 Release to ship	Product shipping administration (9.0)	Product inventory control (7.0)	<Not detailed in object model>
6.2.31 Confirm to ship	Product inventory control (7.0)	Product shipping administration (9.0)	<Not detailed in object model>

Fonte: ANSI/ISA-95.00.01(2000).

4.1.2 Módulo de Avaliação “ISA-95 Modelos de objeto”

No módulo de avaliação “ISA-95 modelos de objeto” descreve os modelos de objeto orientado a relação entre as funções relacionadas anteriormente no módulo de avaliação “ISA-95 funções”. Os modelos de objeto são distribuídos em 8 categorias:

- Capacidade de produção (7.3.1 *Production capability model*)
- Pessoal (7.3.2 *Personnel model*)
- Equipamentos (7.3.3 *Equipment model*)
- Materiais (7.3.4 *Material model*)
- Seguimento de processo (7.3.5 *Process Segment Model*)
- Definição do produto (7.4 *Product definition model*)
- Planejamento da produção (7.5.1 e 7.5.2 *Production schedule*)
- Performance de produção (7.5.3 e 7.5.4 *Production performance*)

No interior desta planilha é necessário analisar os elementos existentes nos modelos de objetos para verificar a sua compatibilidade com os atributos e funções existentes na linha a ser analisada. Na maioria das organizações nem todos os elementos dos modelos de objeto são utilizados, pois depende do grau de complexidade da empresa.

Cada elemento descrito dentro de um modelo de objeto pode ser uma informação, equipamento, material, função, regra, teste e etc. Dentro de cada célula com o elemento do modelo de objeto existe um comentário que auxilia o usuário a interpretar a informação ali descrita com a sua existência dentro da linha de produção. A figura 16 exhibe o módulo de avaliação como um todo:

Figura 16 - Módulo de avaliação “ISA-95 modelos de objeto”

Módulo de avaliação	N.	1
ISA-95	Versão	v1
Modelos de objeto	Data:	11/06/2019

Seguinte →

Identificar os elementos abaixo e se identificado, insira X na coluna "Estado atual"		Estado atual	
7.3.1 Production capability model			
CAPACIDADE DE PESSOAL			
CAPACIDADE DE EQUIPAMENTO			
CAPACIDADE DE MATERIAL			
CAPACIDADE DE SEGMENTO DE PROCESSO			
7.3.2 Personnel model			
CLASSE DE PESSOAL			
PROPRIEDADE DA CLASSE DE PESSOAL			
PESSOA			
PROPRIEDADE DA PESSOA			
ESPECIFICAÇÃO DE TESTE DE QUALIFICAÇÃO			
RESULTADO DO TESTE DE QUALIDADE			
7.3.3 Equipment model			
EQUIPAMENTO			
CLASSE DE EQUIPAMENTO			
PROPRIEDADE DE CLASSE DE EQUIPAMENTO			
PROPRIEDADE DO EQUIPAMENTO			
ESPECIFICAÇÃO DE TESTE DE CAPACIDADE DO EQUIPAMENTO			
RESULTADO DE TESTE DE CAPACIDADE DE EQUIPAMENTO			
INFORMAÇÕES DE MANUTENÇÃO			
7.3.4 Material model			
DEFINIÇÃO DE MATERIAL			
PROPRIEDADE DE DEFINIÇÃO DE MATERIAL			
CLASSE MATERIAL			
PROPRIEDADE DE CLASSE DE MATERIAL			
LOTE DE MATERIAL			
PROPRIEDADE DO LOTE DE MATERIAL			
SUBLOTE DE MATERIAL			
ESPECIFICAÇÃO DE TESTE DE CONTROLE DE QUALIDADE			
RESULTADOS DO TESTE DE CONTROLE DE QUALIDADE			
7.3.5 Process Segment Model			
SEGMENTO DE PROCESSO			
PARÂMETRO DO SEGMENTO DE PROCESSO			
ESPECIFICAÇÃO DO SEGMENTO DE PESSOAL			
ESPECIFICAÇÃO DO SEGMENTO DE			
ESPECIFICAÇÃO DO SEGMENTO DE MATERIAL			
7.4 Product definition model			
SEGMENTO DE PRODUTO			
PARÂMETRO DO PRODUTO			
ESPECIFICAÇÃO DE PESSOAL			
ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTO			
ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAL			
PROJETO DE FABRICAÇÃO			
7.5.1 e 7.5.2 Production schedule			
PEDIDO DE PRODUÇÃO			
REQUISITO DE SEGMENTO			
REQUISITO DE PESSOAL			
REQUISITO DE EQUIPAMENTO			
EXIGÊNCIA PRODUZIDA MATERIAL			
REQUISITO DE MATERIAL CONSUMIDO			
CONSUMÍVEIS ESPERADOS			
PARÂMETRO DE PRODUÇÃO			
RESPOSTA DO SEGMENTO SOLICITADA			
7.5.3 e 7.5.4 Production performance			
RESPOSTA DE PRODUÇÃO			
RESPOSTA DO SEGMENTO			
DADOS DE PRODUÇÃO			
PESSOA			
EQUIPAMENTO REAL			
MATERIAL PRODUZIDO REAL			
MATERIAL CONSUMIDO REAL			
CONSUMO REAL			

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

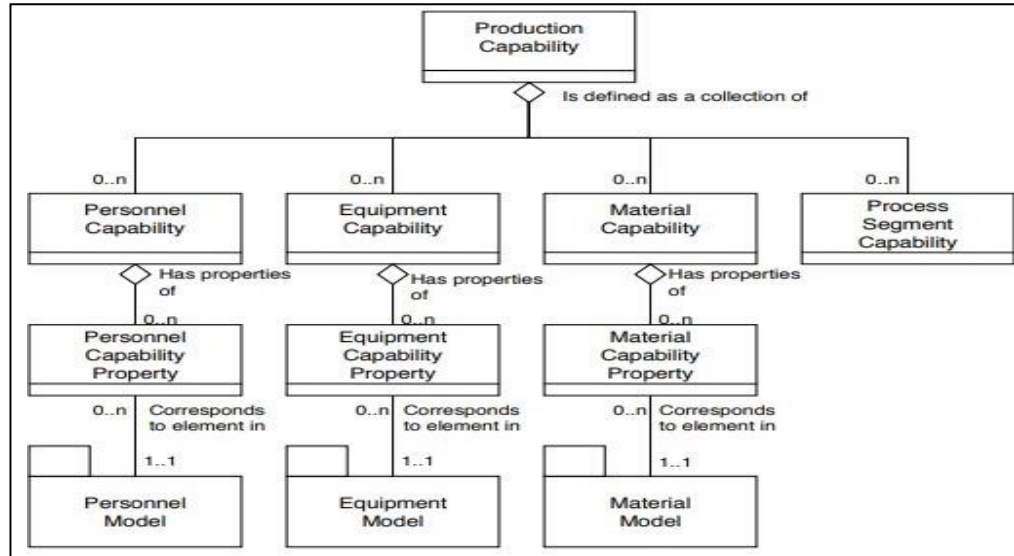
4.1.2.1 Modelagem do Objeto: 7.3.1 Production capability model

Este item busca entender o modelo de objeto capacidade de produção *Production capability model* de uma linha e se a sua importância é relevante para a definição do controle de produção.

O modelo de objeto determina a capacidade de produção existente. Dentre as informações coletadas do modelo de objeto estão, a capacidade de pessoal,

capacidade dos equipamentos, capacidade do material e a capacidade do seguimento de processo.

Figura 17 - ISA-95: Production Capability Model



Fonte: ANSI/ISA-95.00.01 (2000).

- Personnel Capability:** Capacidade de pessoal é definida como um conjunto de referências a pessoas ou classes de pessoal cometidas, disponível, ou inatingível por um tempo definido. A capacidade de pessoal contém referências a pessoas ou classes de pessoal (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- Observações de pesquisa:** A capacidade de pessoal tem o conceito de informar as funções de produção a disponibilidade de recursos humanos a ser utilizados para a produção.
- Equipment Capability:** A capacidade do equipamento é definida como um conjunto de referências a classes de equipamentos ou equipamentos disponível ou indisponível por um período definido. A capacidade do equipamento contém referências a equipamentos ou classes de equipamentos (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- Observações de pesquisa:** Dentro do desenvolvimento de uma arquitetura o papel da capacidade de equipamento entra como uma informação a ser analisada como um auxílio as funções do controle de produção para se analisar a quantidade que o equipamento pode produzir.

- **Material Capability:** A capacidade de material é definida como um conjunto de referências a lotes de material ou sublotos comprometidos, disponíveis ou indisponível por um tempo definido (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** No desenvolvimento da arquitetura o elemento de capacidade de material seve como um conjunto de informações capaz de auxiliar no controle de materiais, pois ele descreve o que está comprometido para ser usado e o que ainda é possível usar.
- **Process Segment Capability:** Uma capacidade de segmento de processo é definida como um agrupamento lógico de recursos de pessoal, equipamentos recursos e material que está comprometido, disponível ou indisponível para um segmento de processo definido tempo específico (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** O processo de capacidade do segmento serve de auxílio para descrever todo a capacidade do segmento, dentro de uma arquitetura a sua função serve como um componente auxiliar de informações.

Tabela 2 - Production Capability model map to ArchiMate

Concept ANSI/ISA-95	Map TO ArchiMate - Class	Map TO ArchiMate – Element
Personnel Capability	Business layer	Business event
Equipment capability	Technology Layer	Business object
Material Capability	Business layer	Business event
Process Segment Capability	<Not specified>	Business object

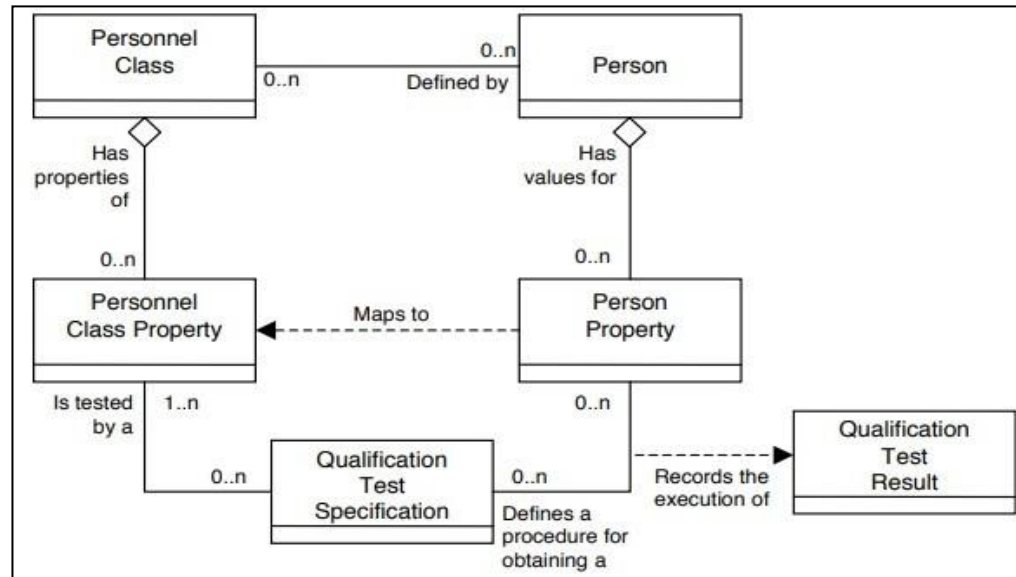
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.1.2.2 Modelagem de Objeto: 7.3.2 Personnel model

O modelo de pessoal **Personnel model** descrito pela norma ISA-95 traz uma contribuição da distribuição dos recursos humanos no processo de produção. Os elementos descritos no modelo de objeto descrevem desde todo o passo para a

avaliação do profissional a ser integrado no processo de produção, fazendo uma análise completa e avaliando os procedimentos para a realização da avaliação.

Figura 18 - ISA-95: Personnel Model



Fonte: ANSI/ISA-95.00.01 (2000).

- **Personnel class:** Uma classe pessoal é um meio de descrever um grupo de pessoas com características semelhantes para fins de programação e planejamento. Qualquer pessoa pode ser um membro de zero ou mais classes de pessoal. Exemplos de classes de pessoal são “mecânica da máquina de cozinhar”, “operadores de máquinas de corte” (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Personnel class property:** Cada classe de pessoal pode ter zero ou mais propriedades reconhecidas. Exemplos de classe pessoal propriedades para os “operadores” de classe pessoal podem ser “classe 1 certificada”, “classe 2 certificada”, “turno da noite”, e “horas de exposição”. As solicitações de produção podem especificar os requisitos de propriedade de classe pessoal necessários para um segmento de produto. (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Person:** Uma pessoa representa um indivíduo especificamente identificado. Uma pessoa pode ser um membro de zero ou mais classes de pessoal (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** A representação da pessoa dentro de uma arquitetura tem uma função importante: realiza funções dentro da arquitetura.
- ***Person property:*** Cada pessoa pode ter zero ou mais propriedades pessoais. Estes especificam os valores da propriedade atual da pessoa para a propriedade do pessoal associado. Por exemplo: uma propriedade pessoal pode ser "turno da noite" e seu valor seria "disponível", e uma propriedade pessoal pode ser "horas de exposição disponíveis" e seu valor ser "4" (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** A propriedade da pessoa para a análise da propriedade da pessoa tem relevância para o processo da modelagem da arquitetura, pois suas informações são muito específicas fazendo com que a sua utilidade na arquitetura seja desprezada.
- ***Qualification test specification:*** Uma especificação de teste de qualificação pode estar associada a uma propriedade de classe pessoal ou a uma propriedade pessoal. Isso geralmente é usado quando um teste de qualificação é necessário garantir que a pessoa tenha o treinamento e/ou experiência corretos para operações específicas (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** A especificação do teste de qualificação dentro do da modelagem para a arquitetura, não encontra um papel que seja de importância para a sua inserção dentro da modelagem de arquitetura.
- ***Qualification test result:*** Um resultado do teste de qualificação registra os resultados de um teste de qualificação para uma pessoa específica. Um resultado do teste de qualificação geralmente inclui:
 - a) a data do teste
 - b) o resultado do teste (passou, falhou)
 - c) a data de vencimento da qualificação (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Os resultados do teste de qualificação servem somente no processo de adequação para a modelagem como uma informação, devido a sua informação ser muito específica, não se torna relevante no processo de modelagem da arquitetura.

Tabela 3 - Personnel Model Map To ArchiMate

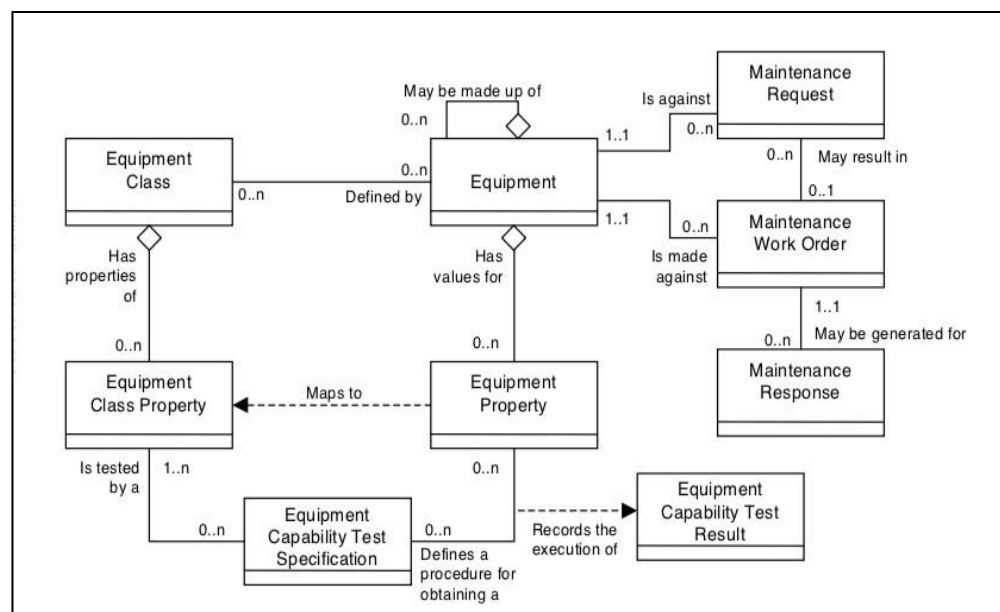
Concept ANSI/ISA-95	Map TO ArchiMate - Class	Map TO ArchiMate – Element
Personnel class	Business Layer	Business object
Personnel class property	<Not specified>	<Not specified>
Person	Business layer	Business actor
Person property	Business layer	Business object
Qualification test specification	<Not specified>	<Not specified>
Qualification test result	<Not specified>	<Not specified>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.1.2.3 Modelagem de Objeto: 7.3.3 – Equipment Model

O modelo de objeto **Equipment model** tem relevante importância para definição do papel dos equipamentos dentro de uma arquitetura conforme orientado pelos conceitos da ISA-95. Neste estudo de caso, foi identificado este conceito como um dos elementos dentro da arquitetura existente e servirá como base para modelagem da arquitetura da plataforma em análise.

Figura 19 - ISA-95: Equipment Model



Fonte: ANSI/ISA-95.00.01 (2000).

Dentro deste conceito de modelo de objeto, o **Equipment** representa o principal elemento de referência para se fazer a inserção de equipamentos dentro de uma arquitetura a ser modelada. Ainda que representa um objeto único, este elemento pode simbolizar equipamentos de uma arquitetura com visões diferentes, ou seja, pode representar tanto componentes e dispositivos agrupados ou então um equipamento (máquina) que inserido em uma parte de uma determinada área. Os demais elementos deste modelo de objeto têm importância no sentido de agrupar todas as necessidades que cercam um equipamento instalado nesta arquitetura, como exemplo: Manutenção, Classes de equipamentos, Propriedades e etc. No entanto, este conjunto nem sempre será possível de ser representado com todos os detalhes através das linguagens de arquitetura, como o ArchiMate que é o propósito desta pesquisa.

A Seguir as definições de cada elemento dentro deste conceito de modelo de objeto extraídos da norma ANSI/ISA-95 e os comentários visando o foco desta pesquisa para modelagem da arquitetura em questão:

- **Equipment:** Os equipamentos representam as rotações do modelo de hierarquia de equipamentos definidos de acordo com 4.2. Equipamentos podem ser definições de sites, áreas, unidades de produção, linhas de produção, células de trabalho, células de processo ou unidades. O equipamento pode ser constituído por outro equipamento, conforme definido no modelo de hierarquia de equipamentos (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Dentro deste contexto, vários equipamentos podem ter a mesma representação dentro da arquitetura, sendo que a diferenciação entre eles pode ser feita através do agrupamento de equipamentos, atores envolvidos ou as tecnologias que os cercam.
- **Equipment Property:** Um equipamento pode ter zero ou mais propriedades de equipamento. Eles especificam os valores atuais da propriedade do equipamento para a propriedade de classe do equipamento associado. As propriedades do equipamento podem incluir uma unidade de medida (ANSI/ISA–95.00.01, 2000). Por exemplo, uma propriedade de classe de

equipamento pode ser “volume” e seu valor seria “50000” com uma unidade de medida de “litros”, uma propriedade de equipamento pode ser “material de revestimento” e seu valor seria “vidro”.

- **Observações de pesquisa:** Propriedades dos equipamentos tem uma abrangência um pouco maior, o que dificulta em partes a representação na modelagem desta arquitetura. No entanto, avaliar o grau de necessidade da representação destas informações é o principal ponto a ser discutido. Elementos de dados e informações podem ser usados dentro da linguagem de modelagem para que a representação destas informações seja realizada.
- ***Equipment Class:*** Uma classe de equipamentos é um meio de descrever um agrupamento de equipamentos com características semelhantes para fins de programação e planejamento. Qualquer peça de equipamento pode ser um membro de zero ou mais classes de equipamentos. Exemplos de classes de equipamentos são “unidade de reator”, “linha de engarrafamento” e “furadeira horizontal” (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** O agrupamento dos elementos de uma linguagem de arquitetura se torna a forma mais direta para a representação deste elemento na arquitetura.
- ***Equipment Class Property:*** Cada classe de equipamento pode ter zero ou mais propriedades reconhecidas. Exemplos de propriedades de classe de equipamento para a classe de equipamento “unidade de reator” podem ser “material de revestimento”, “taxa de extração de BTU” e “volume”. As solicitações de produção podem especificar requisitos de propriedade de equipamento necessários para um segmento de produto (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Este é um elemento mais abstrato em termos de representação dentro da arquitetura. Os elementos e as classes de equipamentos são representados de forma mais clara, enquanto as propriedades estão contidas nas especificações e informações de cada um deles.

- ***Equipment capability test specification:*** Uma especificação de teste de capacidade de equipamento pode estar associada a uma propriedade de equipamento. Utilizado onde um teste é necessário para garantir que o equipamento tenha a capacidade nominal. Uma especificação de teste de capacidade do equipamento pode testar uma ou mais propriedades do equipamento (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- ***Observações de pesquisa:*** Este elemento, quando pertinente em uma arquitetura, pode ser utilizado com a representação de elementos de linguagem para representação de alguma ação ou serviço dentro do domínio de aplicação ou tecnologia.
- ***Equipment capability test result:*** Um resultado de teste de capacidade do equipamento registra os resultados de um teste de qualificação para uma peça específica do equipamento (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- ***Observações de pesquisa:*** Os resultados de testes, quanto estes representados na modelagem de arquitetura, podem seguir o padrão dos elementos de linguagem para estas modelagens.
- ***Maintenance Information:*** A sobreposição de informações entre o controle de fabricação e a manutenção está na área de equipamentos. Isso é representado como solicitações de manutenção, respostas de manutenção e ordens de serviço associadas a um equipamento específico (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- ***Observações de pesquisa:*** Elementos de manutenção são importantes conceitos a serem representados em torno dos equipamentos. A representação de elementos de manutenção pode ser realizada através de objetos de serviços e ações com a inclusão dos atores envolvidos.

A tabela abaixo faz uma referência cruzada entre os elementos deste modelo de objeto analisado e os elementos disponíveis no ArchiMate. Parcialmente, será observado até que ponto o ArchiMate poderá ser usado como uma ferramenta de modelagem deste cenário. Ao final uma avaliação global será realizada no intuito de possibilitar a representação desta arquitetura dentro do ArchiMate.

Tabela 4 - Equipament Map To ArchiMate

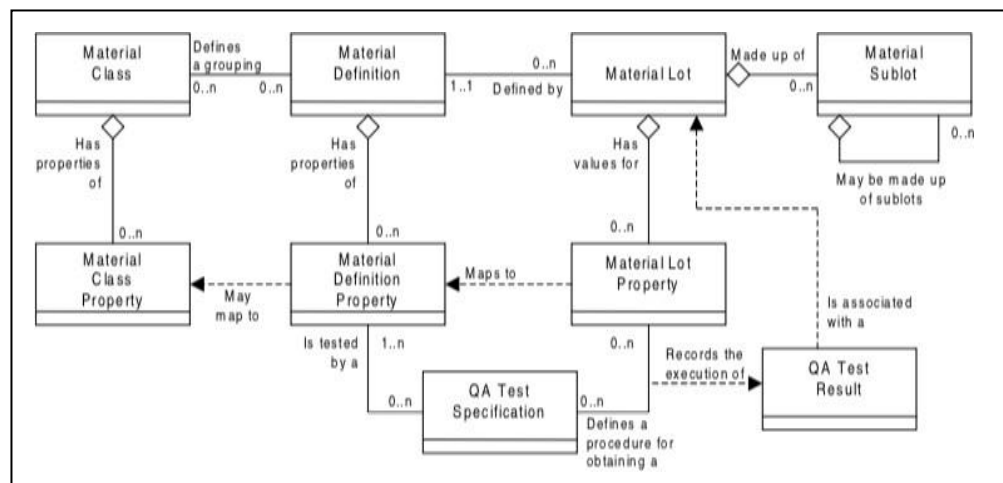
Concept ANSI/ISA-95	Map TO ArchiMate - Class	Map TO ArchiMate – Element
Equipment	Technology Layer, Physical Layer	Equipment, Device, System Software
Equipment class	Technology Layer, Physical Layer	Facility, Technology Interaction
Equipment class property		<Not specified>
Equipment property	Physical Layer	Material
Equipment capability test specification	Technology Layer, Application Layer	Technology Event, Technology Service, Application Event, Application Service
Equipment capability test result	Technology Layer	Artifact
Maintenance information	Application Layer	Application Event, Application Service, Data Object

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.1.2.4 Modelagem de Objeto: 7.3.4 – Material Model

A representação de arquiteturas empresariais tem um papel importante em demonstrar os principais elementos de processo ou sistema. Dentre eles, a definição dos materiais envolvidos nesta arquitetura faz-se tão importante quanto necessário e, desta forma, o modelo de objeto **Material model** descrito pela ISA-95 tem relevante importância na caracterização mais realista de uma arquitetura real.

Figura 20 - ISA-95: Material model



Fonte: ANSI/ISA-95.00.01 (2000).

No entanto, esta representação do modelo de objeto *Material Model* torna-se um pouco abrangente em virtude do conceito de material poder ser definido dentro de uma arquitetura de formas diferentes. O elemento Material pode ser tanto um insumo no início ou meio de um processo produtivo como pode ser também um componente agregado dentro de um sistema em um conjunto para compor um novo elemento. Estes materiais podem estar divididos em sub-lotes de materiais ou classes diferentes de acordo com a cadeia representada.

Para a modelagem da arquitetura, a representação dos materiais com definições diferenciadas pode ser um pouco dificultada. No ArchiMate, a linguagem de modelagem pode representar os materiais de uma arquitetura de uma forma mais genérica, ou seja, especificações mais particulares são abordadas de forma mais geral. Esta generalidade não deve impactar de forma crítica na modelagem de arquiteturas de automação uma vez que estas arquiteturas têm seu foco mais aderente a visão das topologias, funções e comunicação entre todos os sistemas.

Embora o Elemento Material seja importante, entende-se que o detalhamento refinado pode não trazer prejuízo para o entendimento e clareza de uma estrutura de arquitetura. Neste sentido, os principais elementos dentro do modelo de objeto serão mapeados no ArchiMate no intuito de tentar representar da melhor maneira os materiais de uma arquitetura de automação. Demais elementos secundários poderão não ser considerados, visto a pouca relevância dentro do objetivo deste estudo.

As definições de cada elemento deste conceito de modelo de objeto extraídos da norma ANSI/ISA-95 e os comentários pertinentes ao desenvolvimento desta pesquisa são apresentados a seguir:

- **Material Definition:** Uma definição de material é um meio para descrever mercadorias com características semelhantes para fins de programação e planejamento. Os materiais podem ser identificados como brutos, intermediários ou finais e podem ter outras informações de estado, como disponibilidade de informações de segurança. Qualquer lote de material é definido por uma definição de material. As definições de material podem estar relacionadas a uma solicitação de produção. O material pode ter

diferentes definições para diferentes solicitações de produção, dependendo dos requisitos específicos do cliente (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** Os elementos de Objetos para os materiais dentro das arquiteturas modeladas no ArchiMate, serão representados com uma visão mais ampla. A definição destes materiais deve considerar conceitos orientados as arquiteturas de automação.
- **Material Definition Property:** Uma definição de material pode ser ainda caracterizada por zero ou mais propriedades de definição de material. Exemplos de propriedade de definição de material incluem densidade, fator de pH ou resistência do material. Estes definem os valores nominais ou padrão para o material (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Definições mais detalhadas para os materiais podem não ser consideradas com base na visão de arquiteturas de automação. As ferramentas de modelagem também podem não contar tamanha abstração deste conceito.
- **Material Class:** Uma classe de material é um meio de definir definições de material de agrupamentos para uso no planejamento ou processamento de produção. Uma definição de material pode pertencer a zero ou mais classes de material (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Dentro do conceito de arquiteturas industriais com vistas às plataformas de automação, as classes de materiais podem servir como apoio a divisão de componentes ou dispositivos de uma solução.
- **Material Class Property:** Uma classe de material pode ser ainda caracterizada através de zero ou mais propriedades de classe de material. Exemplos de propriedades de classe de material incluem densidade, fator de pH e resistência do material. As propriedades da classe de material geralmente definem os valores nominais ou padrão para o material. Uma propriedade de material não precisa corresponder a uma propriedade de classe de material (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** A abstração mais específica para as propriedades das classes de materiais pode não ser consideradas com base na visão de arquiteturas de automação. As ferramentas de modelagem também podem não contar tamanha abstração deste conceito.
- **Material Lot:** Um objeto de lote de material identifica exclusivamente uma quantidade específica de material, contável ou maleável. Isso descreve a quantidade total atual ou a quantidade de material disponível, seu estado atual e seus valores de propriedade específicos (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** A representação de lotes de materiais tem relevante importância para indicação do fluxo da cadeia produtivo bem como suas características do início ao fim de um fluxo. Lotes de materiais são importantes pontos a serem representados na arquitetura.
- **Material Lot Property:** Cada material pode ter valores exclusivos para zero ou mais propriedades de lote de material, como um valor de pH específico para o lote específico de material ou uma densidade específica para o lote de material (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Detalhamentos mais específicos de propriedades de lotes de materiais podem não ser considerados neste estudo uma vez que sua inclusão não deve ter grande impacto na modelagem de arquiteturas de automação.
- **Material Sublot:** Um lote de material pode ser armazenado como uma quantidade identificável separada. Cada quantidade identificável separada do material é identificada em um objeto sublote de material. Todos os sublotes de material devem conter o mesmo lote de material, portanto, eles usam os valores de propriedade do elemento de lote de material. Um sublote material pode ser apenas um único item (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** A representação de sublotes de materiais devem ser avaliadas dentro do conjunto de material a ser modelado. Diferentes partes dentro de um conjunto de materiais podem ser representados como sublotes.

- **QA Test Specification:** Uma especificação de teste de controle de qualidade pode estar associada a uma propriedade de classe de material. Isso é normalmente usado quando um teste é necessário para garantir que o material tenha o valor da propriedade necessário. Uma especificação de teste de controle de qualidade pode identificar um teste para uma ou mais propriedades de classe de material. Nem todas as propriedades precisam ter uma especificação de teste de controle de qualidade definida. As especificações de teste de controle de qualidade também podem estar relacionadas a uma solicitação de produção. O material pode ter diferentes especificações para diferentes solicitações de produção, dependendo dos requisitos específicos do cliente (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Testes de qualidade para classe ou propriedade de materiais, quanto pertinente, podem ser representados dentro da linguagem de modelagem através dos elementos de ações nos domínios de tecnologia e componentes físicos.
- **QA Test Results:** Um resultado do teste de QA registra os resultados de um teste de QA para um lote de material específico. Os resultados do teste de controle de qualidade geralmente estão associados a uma resposta de produção, segmento do processo, características do produto entre outros itens relacionados as requisições de processo (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Quando representados os testes de qualidade, os resultados devem ser representados em conjunto para que o ciclo responsável pelos testes seja completo.

A tabela abaixo representa o mapeamento dos elementos orientados pela ISA-95 para o modelo de objeto aplicado aos materiais. O objetivo é tentar relacionar os elementos de forma que a arquitetura modelada possa representar este modelo de objeto contemplando os elementos necessários e com um resultado satisfatório em termos de modelagem da arquitetura.

Tabela 5 - Material Model Map To ArchiMate

Concept ANSI/ISA-95	Map TO ArchiMate - Class	Map TO ArchiMate - Element
Material definition	Business Layer	Product, Contract
Material definition property		<Not specified>
Material class	Business Layer, Application Layer	Business Object, Data object
Material class property		<Not specified>
Material lot	Physical Layer	Facility, Material
Material lot property		<Not specified>
Material subplot	Physical Layer	Artifact
QA test specification	Technology Layer, Application Layer	Technology Service, Application Service
QA test results	Technology Layer, Application Layer	Tecnology Event, Application Event

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

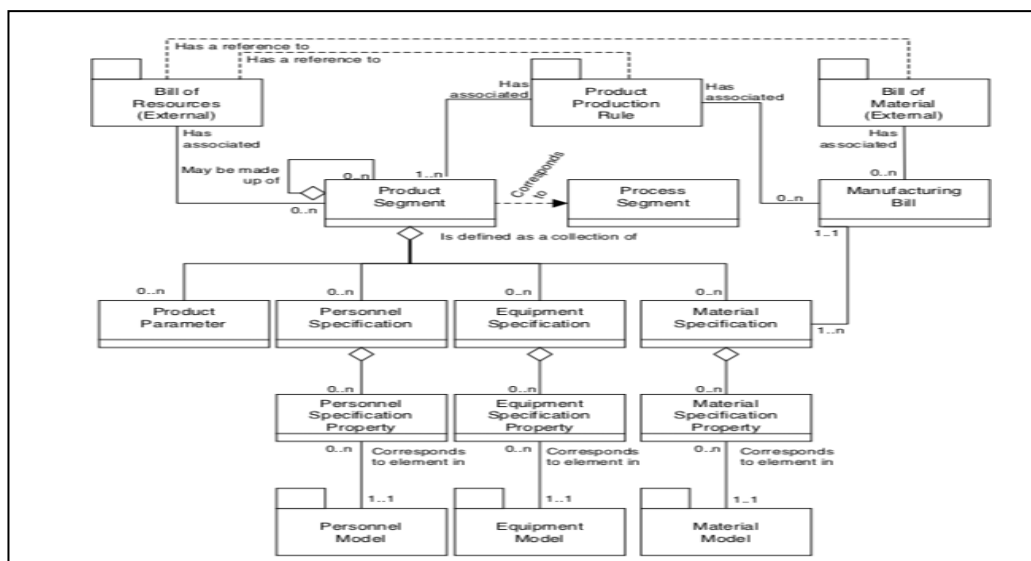
4.1.2.5 Modelagem de Objeto: 7.4 – Product Definition Model

A representação de um produto dentro de uma arquitetura, de acordo com a norma ANSI/ISA-95, vai além de especificações técnicas de material ou componente para a produção de um produto.

A definição de produto dentro de uma arquitetura é importante tanto para o seu sistema de produção quanto para o fluxo do processo produtivo.

O modelo de objeto *Product Definition Model* descrito pela ISA-95 procura disseminar as condições necessárias para processo e produto, desde sua origem até o final do fluxo dentro da arquitetura.

Figura 21 - ISA-95: Production Definition Model



Fonte: ANSI/ISA-95.00.01, 2000.

Com base nos conceitos representados neste modelo de objeto representado na figura acima, é possível observar todo cenário em torno do segmento de um produto é definido em conjunto para que as demandas necessárias associadas a este produto sejam supridas e o fluxo seja atendido.

A modelagem da arquitetura de automação, deve levar em conta todo o cenário orientado pelo modelo de objeto para definição do produto afim que seja possível de se reproduzir através das linguagens de modelagens de arquiteturas, modelos capazes de representar estruturas de arquiteturas de automação que permitam a tomada de decisões com uma visão real de uma plataforma avaliada.

Os elementos pertinentes ao modelo de objeto *Product Definition Model* foram extraídos da norma ANSI/ISA-95 se serão apresentados a seguir junto aos comentários com foco no escopo deste estudo:

- **Product Segment:** Um segmento de produto identifica, referência ou corresponde a um segmento de processo. Um segmento de produto está relacionado a um produto específico, enquanto um segmento de processo é independente do produto. O segmento de produto especifica os valores necessários para quantificar um segmento para um produto específico, como

um número específico de operadores com qualificações específicas (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** A representação do segmento do produto tem grande relevância dentro da arquitetura. Esta representação indica o fluxo da cadeia produtiva e orienta os cenários ao seu redor. Dentro da modelagem da arquitetura uma atenção especial a este modelo de objeto deve ser considerado.
- **Product Parameter:** A definição da regra de produção está fora do escopo deste documento, mas uma regra de produção terá um conjunto associado de zero ou mais parâmetros de produto por segmento de produto para cada produto definido. Os parâmetros do produto definem os nomes e tipos dos valores que podem ser enviados ao sistema de controle para parametrizar o produto (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Os parâmetros são informações detalhadas do elemento produto. Embora o segmento do produto dentro da arquitetura tenha uma importância significativa em termos de fluxo da cadeia produtiva, os parâmetros associados a estes produtos são informações mais abrangentes no contexto da visão de uma arquitetura. Estes elementos podem ser desconsiderados durante a modelagem caso sejam considerados pouco influentes na estrutura desenvolvida.
- **Personnel Specification:** Uma especificação de pessoal identifica, faz referência ou corresponde a uma capacidade de pessoal e geralmente especifica a classe de pessoal, mas pode, às vezes, especificar uma pessoa. Isso identifica a capacidade específica de pessoal associada ao segmento de produto identificado (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** A representação de pessoas dentro da arquitetura se dá em vários cenários distintos representando funções ou pontos de determinadas ações específicas. Neste modelo de objeto a representação de pessoas ou classes pode ser representada indicando os envolvidos no segmento do produto.

- **Equipment Specification:** Uma especificação de equipamento faz referência ou corresponde a uma capacidade do equipamento e pode especificar uma classe de equipamento ou um equipamento. Isso identifica a capacidade específica do equipamento que está associada ao segmento de produto identificado (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** A especificação de equipamentos, assim como especificação de outros componentes, é importante para que a definição de todos elementos seja considerada dentro da arquitetura. Desta forma, faz com que a modelagem da arquitetura seja mais precisa em sua representação.
- **Material Specification:** Uma especificação de material identifica ou corresponde a uma capacidade de material e geralmente especifica um material ou uma classe de material. Isso identifica a especificação de material específica associada ao segmento de produto identificado (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Como abordados em tópicos anteriores, a representação de material tem grande importância dentro da arquitetura em sua forma mais abrangente. A visão da arquitetura para os materiais tem uma preocupação maior na representação dos eventos relacionados ao seu fluxo. No entanto, maiores detalhamentos sobre estes materiais podem não ser considerados devido a pequena importância para a estrutura da arquitetura.
- **Manufacturing Bill:** A fatura de manufatura inclui todos os usos do material na produção do produto, enquanto a especificação de material do segmento de produto define apenas a quantidade usada em um segmento de produção. Por exemplo, uma nota de fabricação pode identificar 55 parafusos rosqueados à esquerda do Tipo C, onde 20 são usados em um segmento de produto, 20 em outro segmento de produto e 15 em um terceiro segmento de produto (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** O elemento *Manufacturing Bill* representa uma extensão para o detalhamento dos materiais as classes de materiais. Para modelagem das arquiteturas de automação este elemento pode não ser considerado ou tratado de maneira mais abrangente uma vez que os detalhes podem não trazer relevância para a modelagem representada.

A tabela procura representar os principais elementos do modelo de objeto ***Production Definition Model*** orientado pela ISA-95. O mapeamento realizado com os elementos do ArchiMate procura contemplar as demandas necessárias para representação do modelo de objeto orientado pela ISA-95.

Tabela 6 - Production Definition Map To ArchiMate

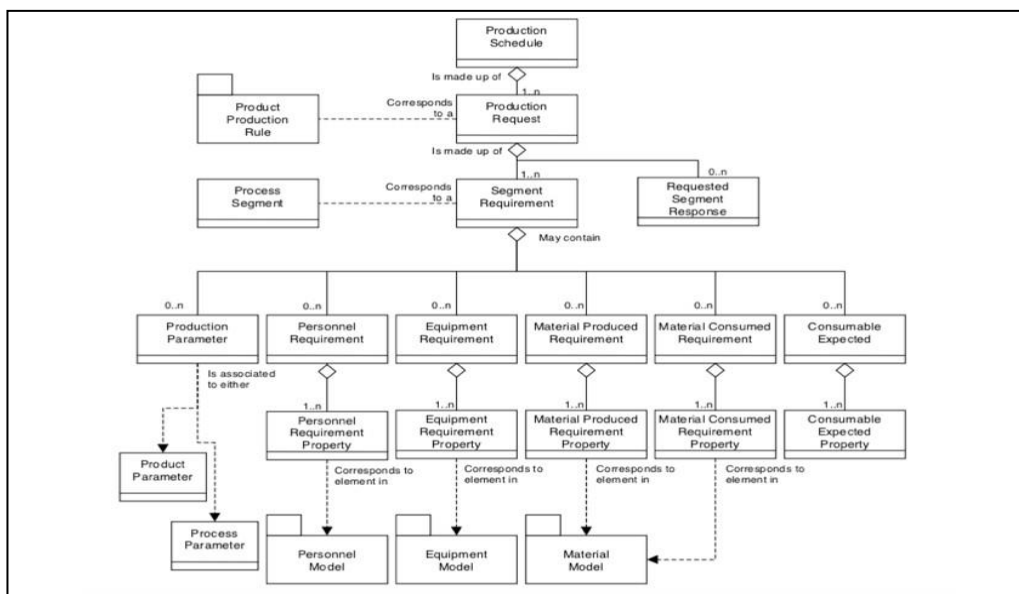
Concept ANSI/ISA-95	Map TO ArchiMate - Class	Map TO ArchiMate - Element
Product segment	Business Layer, Technology Layer	Product, Contract, Technology Event, Technology Process
Product parameter	Business Layer, Physical Layer	Data Object, Artifact
Personnel specification	Business Layer, Strategy Layer	Business Actor, Business Role, Resource, Capability
Equipment specification	Physical Layer	Equipment, Facility
Material specification	Physical Layer	Material
Manufacturing bill		<Not specified>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.1.2.6 Modelo de Objeto: 7.5.1 3 7.5.2 – *Production Schedule Model*

O modelo de objeto *Product Schedule Model* tem grande relevância dentro da arquitetura uma vez que este é o responsável por representar o domínio referente a programação de produção em um processo. Este modelo de objeto faz uma síntese dos principais elementos que cercam a área de programação. A programação dentro de uma cadeia produtiva é responsável por fornecer as informações principais para que a demanda, desde sua origem, seja suprimida. Este modelo de objeto faz a união do domínio de negócios com a cadeia produtiva da empresa.

Figura 22 - ISA-95: Production Schedule Model



Fonte: ANSI/ISA-95.00.01, 2000.

A modelagem da arquitetura dentro deste domínio de *Production Schedule model* preocupa-se em representar os requisitos de cada área envolvida para que a produção seja viabilizada de acordo com os parâmetros definidos. Neste contexto, um cenário contemplando a integração destas áreas e suas requisições associadas ajuda a fornecer uma visão conjunta do fluxo produtivo por inteiro.

Os elementos do modelo de objeto *Production Schedule Model* definidos pela ANSI/ISA-95 são apresentados a seguir para auxiliar no entendimento deste domínio e dando um suporte ao desenvolvimento na modelagem dentro do ArchiMate. Os comentários fornecem uma pré análise destes elementos conceituais para referenciamento na linguagem de modelagem desta arquitetura.

- **Production Request:** Uma solicitação de produção define uma solicitação para um único produto identificado por uma regra de produção. Uma solicitação de produção contém as informações exigidas pela manufatura para atender a produção planejada. Isso pode ser um subconjunto das informações do pedido de produção comercial ou pode conter informações adicionais que normalmente não são usadas pelo sistema de negócios (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** Este modelo de objeto deve ser representado dentro de uma arquitetura com a preocupação em representar de maneira clara o envolvimento entre as diferentes áreas, suas requisições e parâmetros para que a demanda produtiva seja satisfeita.
- **Segment Requirement:** Uma solicitação de produção é composta de um ou mais requisitos de segmento. Cada requisito de segmento deve corresponder ou referir-se a um segmento de processo identificado. O requisito de segmento identifica ou referência a capacidade de segmento à qual o pessoal, equipamento, materiais e parâmetros de produção associados correspondem (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Os requisitos de cada segmento são representados para que os domínios de pessoal, equipamentos e materiais estejam alinhados.
- **Personnel Requirement:** Um requisito de pessoal e os elementos de propriedade de requisito de pessoal associado referem-se ao número, tipo, duração e programação de certificações específicas e classificações de trabalho necessárias para dar suporte à solicitação de produção atual (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** A representação dos requisitos de pessoal é um ponto relevante dentro da arquitetura para que os parâmetros referentes a definição deste elemento sejam apresentados. As propriedades destes requisitos podem não ser modeladas dentro do ArchiMate devido à pouca influência na estrutura da arquitetura.
- **Equipment Requirement:** A solicitação de produção pode incluir um ou mais requisitos para o equipamento que a instalação utilizará no processo de produção para o item programado. Os requisitos podem ser tão genéricos quanto os materiais de construção ou tão específicos quanto uma peça específica do equipamento. Cada requisito de equipamento identifica uma classe geral de equipamentos, uma classe específica de equipamentos ou

uma peça específica ou conjunto de equipamentos (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** Os equipamentos devem ser especificados para atender a cadeia produtiva de acordo com as requisições de equipamentos para cada processo ou produto definido. Requisitos mais específicos podem não ser considerados na modelagem a arquitetura planejada por serem considerados menos relevantes a uma arquitetura de automação.
- ***Material Produced Requirement:*** Um requisito produzido pelo material é uma identificação de um material a ser produzido a partir da solicitação de produção. Elementos específicos associados a cada requisito produzido pelo material podem ser incluídos em uma ou mais propriedades de requisito produzidas pelo material (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Os requisitos de materiais abrangem a especificação dos materiais necessárias para cada programação de produção de um produto. Em geral, representam os materiais destinados a montagem ou composição para fabricação de um produto. Propriedades mais detalhadas para estes requisitos podem não ser considerados para representação dentro da modelagem da arquitetura.
- ***Material Consumed Requirement:*** Um requisito de material consumido é uma identificação de um material a ser usado na solicitação de produção pertinente aos materiais do produto. Exemplos de materiais como insumos e demais materiais para produção de um produto podem ser considerados na fabricação de um determinado produto (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Materiais de consumo podem ser modelados para representar os materiais que devem ser considerados na programação de produção de um produto ou lote. Materiais mais secundários podem não ser considerados na modelagem de uma arquitetura.
- ***Consumable expected:*** Os consumíveis esperados incluem recursos que normalmente não são incluídos em listas de materiais ou não são contabilizados individualmente em solicitações de produção específicas.

Dependendo da indústria, estes podem incluir água, catalisadores, produtos químicos comuns e utilidades, como eletricidade e vapor. Esses itens geralmente resultam em cobranças diretas que normalmente serão consideradas no custo do segmento de produto. Os materiais de consumo geralmente são materiais que possuem um saldo de estoque. Em algumas indústrias, os consumíveis esperados não são utilizados e as informações são incluídas na exigência de consumo de material (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** Materiais consumíveis normalmente não tem relevância que impactam na estrutura de modelagem de uma arquitetura e podem não ser considerados. Estes materiais não têm impacto neste estudo para modelagem de arquiteturas de automação.
- ***Production Parameter:*** Um parâmetro de produção é a informação contida no sistema corporativo que é requerida pelo sistema operacional para produção correta. Parâmetros de produção podem ser representados por limite de qualidade, *setpoint*, *target*, transporte entre outros (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Os parâmetros de produção podem ser representados por informações e dados dentro da arquitetura. No entanto sua inclusão dentro da modelagem normalmente pode ser desconsiderada uma vez que a relevância normalmente pouco impacta na estrutura da arquitetura.
- ***Requested Segment Response:*** Uma resposta de segmento solicitada é a definição das informações que devem ser enviadas de volta como resultado da solicitação de produção. Uma resposta de segmento solicitada pode incluir informações necessárias, que definem informações que devem ser relatadas na produção, como a quantidade real de material consumido (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** As respostas para requisições podem ser representadas dentro da arquitetura através de elementos que representam

o retorno de uma informação solicitada. Esta representação na modelagem é importante para que o fluxo modelado apresente de forma clara o ciclo de uma informação.

A tabela a seguir faz uma referência entre os principais elementos do modelo de objeto ***Production Schedule Model*** orientado pela ISA-95 e os elementos de modelagem dentro da linguagem ArchiMate. Os elementos deste modelo de objeto orientado pela ISA-95 com pouco relevância para a modelagem da arquitetura foram desconsiderados.

Tabela 7 - Production Schedule Map To ArchiMate

Concept ANSI/ISA-95	Map TO ArchiMate - Class	Map TO ArchiMate – Element
Production request	Business Layer	Business Event
Segment requirement	Application Layer	Application Event
Personnel requirement	Business Layer	Business role
Equipment requirement	Technology Layer	Technology Event
Material produced requirement	Business Layer	Product
Material consumed requirement	Technology Layer	Artifact
Consumable expected		<Not specified>
Production parameter		<Not specified>
Requested segment response	Business Layer, Application Layer, Technology Layer	Business Event, Application Event, Technology Event

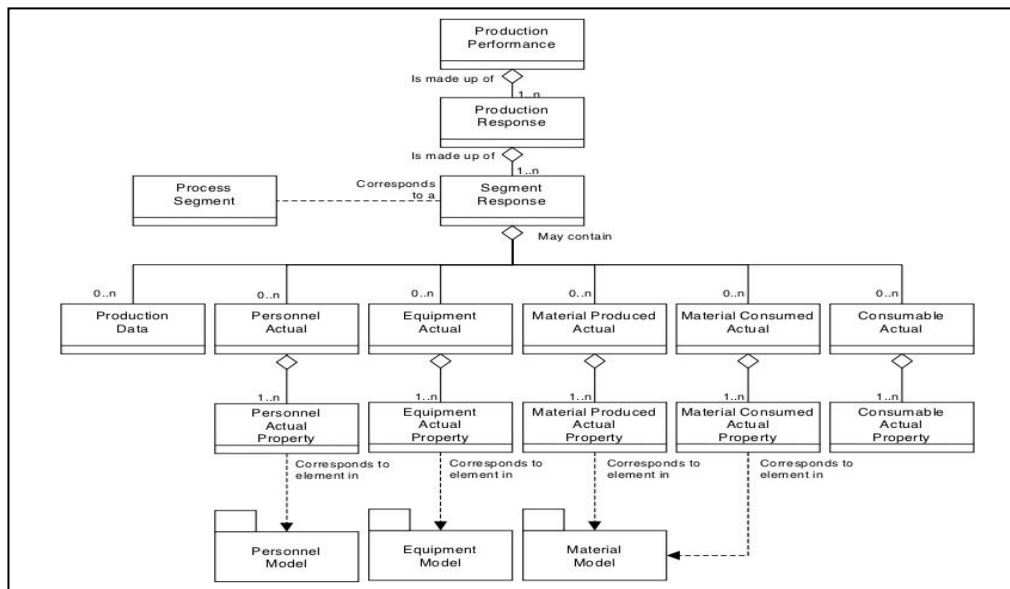
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.1.2.7 Modelagem de Objeto: 7.5.3 e 7.5.4 – *Production Performance Model*

O conjunto de elementos que formam o modelo de objeto *Product Performance Model* são responsáveis pela estrutura de performance da produção esperada. Este modelo de objeto é desenhado para possibilitar que um planejamento para a performance referente a cadeia produtiva possa ser melhor especificada. Este modelo deve permitir ainda que o conjunto de respostas fornecidos a programação de produção

permita que alterações futuras realizadas para que performances mais precisas sejam alcançadas melhorando o fluxo de produção.

Figura 23 - ISA-95: Production Performance Model



Fonte: ANSI/ISA-95.00.01 (2000).

A arquitetura dentro para este domínio tem o objetivo de apresentar os elementos atuais da cadeia especificada fornecendo respostas ao processo produtivo que permitam novas decisões com base nos dados extraídos. Uma análise de arquitetura para tomadas de decisão dentro de um processo pode nascer através da análise de dados coletados deste modelo.

Os elementos que compõe este modelo de objeto têm grande importância dentro da estrutura de uma arquitetura e a modelagem destes conceitos são essenciais para avaliação de posterior do processo planejado. O ArchiMate tem um papel fundamental no fornecimento de elementos de modelagem que satisfaçam a necessidade deste modelo de objeto orientado pela ISA-95.

- **Production Response:** Respostas de produção são as respostas da manufatura associadas a uma solicitação de produção. Pode haver uma ou mais respostas de produção para uma única solicitação de produção se a instalação de produção precisar dividir a solicitação de produção em elementos menores de trabalho (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** As respostas dentro do fluxo produtivo auxiliam no entendimento da performance atual e possibilitam que ajustes sejam realizados para melhoria contínua desta estrutura. A modelagem deste fluxo de informação é de grande importância para que este ajuste seja possível.
- **Segment Response:** A resposta de produção para um segmento específico de produção é definida como uma resposta do segmento. Uma resposta de segmento pode ser composta de zero ou mais conjuntos de informações sobre dados de produção, pessoal real, equipamento real, utilidades reais, materiais consumidos reais, materiais produzidos reais e consumíveis reais (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** As respostas auxiliam no entendimento do fluxo da arquitetura. Estas respostas podem identificar as associações entre os segmentos e também o início e fim de cada segmento do processo, bem como sua duração. Elementos da linguagem de modelagem que possam representar bem este fluxo de informações pelos segmentos, ajudam a melhor definir a estrutura da arquitetura modelada.
- **Production Data:** Os dados de produção são informações relacionadas aos produtos reais fabricados. Exemplos de dados de produção são: Número de pedido, Notas comerciais, Informação de qualidade, Certificação de análise, Desvios processuais, Comportamento do processo, entre outros (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Os dados de produção devem ser representados dentro da arquitetura modelada respeitando as informações principais de processo. Dados mais específicos podem não ser considerados de acordo com a relevância para representação da arquitetura.
- **Personnel Actual:** Os dados reais de pessoal em uma resposta de produção identificam uma capacidade de pessoal usada durante um segmento de produto especificado. As funções de produção geralmente exigem que as pessoas sejam um recurso para realizar tarefas (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).

- **Observações de pesquisa:** A representação dos atores envolvidos nos segmentos de processos são informações importantes para a modelagem. Dados de segmentos de processos fornecidos por pessoas envolvidas podem ser representados.
- ***Equipment Actual:*** O equipamento real em uma resposta de produção identifica uma capacidade de equipamento usada durante um segmento de produto especificado. As funções de produção geralmente exigem equipamentos como recurso para executar tarefas (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Os dados e informações de processos fornecidos pelos equipamentos são importantes para avaliação da capacidade destes equipamentos em suportar o processo. Estas informações são de grande importância dentro da arquitetura de automação para auxiliar em tomadas de decisões mais precisas para melhoria da performance do processo.
- ***Material Actual:*** O material produzido real em uma resposta de produção identifica o material produzido durante um segmento de produto definido. O material pode ser o produto final, um produto intermediário que deve ser identificado para fins de cálculo de custo ou cronograma, ou um produto ou material descartado (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** As informações e respostas para os materiais reais em um processo importantes para o planejamento da produção. A modelagem destes dados pode ser mais abrangente, de acordo com o grau de impacto na arquitetura.
- ***Material Consumed Actual:*** O material consumido real em uma resposta de produção identifica o material usado durante um segmento de produto especificado. Este material pode ser identificado na lista de materiais e pode ser uma matéria-prima ou material comprado (ANSI/ISA–95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Na modelagem da arquitetura, as informações de materiais de consumo podem ser consideradas de forma mais

generalizada ou até desconsiderado da representação caso não tenha uma influência significativa dentro da arquitetura representada.

- **Consumable Actual:** Os valores reais consumíveis incluem recursos que normalmente não são incluídos em listas de materiais ou não são contabilizados individualmente em solicitações de produção específicas. Estes incluem água, catalisadores, produtos químicos comuns e utilidades, como eletricidade e vapor (ANSI/ISA-95.00.01, 2000).
- **Observações de pesquisa:** Elementos consumíveis são tratados de forma mais abrangente ou desconsiderados uma vez que sua representação tem pouco impacto para a estrutura da arquitetura representada.
- A tabela a seguir faz uma referência entre os principais elementos do modelo de objeto **Production Performance Model** orientado pela ISA-95 e os principais elementos dentro do ArchiMate para melhor representar a modelagem de uma arquitetura. Os elementos com pequeno impacto para esta representação podem ser desconsiderados.

Tabela 8 - Production Performance Map to ArchiMate

Concept ANSI/ISA-95	Map TO ArchiMate - Class	Map TO ArchiMate - Element
Production response	Business Layer	Business Process, Business Service
Segment response	Application Layer	Application Process,
Production data	Application Layer	Data Object
Personnel actual	Business Layer	Business Actor
Equipment actual	Technology Layer, Physical Layer	Equipment, Device, System Software, Technology Interface
Material produced actual	Physical Layer	Material
Material consumed actual	Technology Layer	Artifact
Consumable actual		<Not specified>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.1.3 Módulo de avaliação “Elementos RAMI 4.0”

O módulo de avaliação “Elementos RAMI 4.0” (Anexo A), busca ser uma peça importante no processo do instrumento de coleta pois nele ocorre a integração de todas as informações relevantes para o procedimento de modelagem de uma arquitetura.

O módulo de avaliação descreve as camadas (*Layers*) do *framework* RAMI 4.0 em sua primeira coluna, as camadas são:

- *Business Layer* (Camada de negócios)
- *Functional Layer* (Camada de Funções)
- *Information Layer* (Camada de informações)
- *Communication Layer* (Camada de comunicação)
- *Integration Layer* (Camada de integração)
- *Asset Layer* (Camada de ativos)

No módulo de avaliação, abaixo de cada título de camada são distribuídos os elementos dos modelos de objeto que foram inseridos no módulo de avaliação anterior. Os elementos são inseridos dentro das camadas correspondentes as suas funções ou dados, como no exemplo do modelo de objeto capacidade de produção (7.3.1 *Production capability*) cujo os elementos são: Capacidade de pessoal, capacidade de equipamentos, capacidade de material, capacidade do seguimento de processo. A inserção de cada um desses elementos dentro vai de acordo com a sua compatibilidade com a camada do RAMI 4.0. No exemplo acima de capacidade pessoal a distribuição resultaria em: Capacidade de pessoal e capacidade do seguimento de processos dentro do *Layer Business* e capacidade de equipamentos e material dentro do *Layer Functional*.

Dentro de cada *Layer* (Camada) estão descritas outras 4 grandes colunas sendo elas, Infraestrutura, Tecnologia, Sistemas e Informações. Dentro de cada coluna são descritos elementos diversos que podem ser desde equipamento até um protocolo de comunicação.

4.1.3.1 *Business Layer (Camada de negócios)*

Descreve todos os processos organizacionais, os modelos de negócios e controle de finanças. São exibidos os elementos de infraestrutura totalmente voltados para a gestão empresarial, além dos elementos de tecnologia descritos criarem uma ponte do modelo de negócios com o mundo conectado, já os elementos de sistemas descrevem vários *softwares* de sistema integrado de gestão empresarial e os elementos de informações possuem algumas funções processos utilizados na gestão empresarial.

4.1.3.2 *Functional Layer (Camada de funções)*

Tem-se que os elementos de infraestrutura estão relacionados com os processos, onde os elementos de tecnologia descrevem os tipos de acessos e as informações dos processos. Os elementos de sistemas descrevem os mais diversos tipos sistemas e *software*, desde PLC até ERP, já os elementos de informações descrevem algumas informações e funções.

4.1.3.3 *Information Layer (Camada de informações)*

É descrito nos elementos de infraestrutura, métodos de armazenamento de dados, desde o método menos sofisticado até o mais sofisticado. Nos elementos de tecnologia pode-se observar a comunicação de dados entre servidores. Os elementos de sistemas são detalhados alguns sistemas arquivamento de dados e histórico. Os elementos de informações detalham alguns tipos de arquivos que armazenam dados.

4.1.3.4 *Communication Layer (Camada de comunicação)*

Descreve já nos elementos de infraestrutura as redes de comunicação física, nos elementos de tecnologias mostram os diversos tipos de protocolos, já os elementos de sistemas exibem sistemas de integração de comunicação, e nos elementos de

informações tem-se os vários tipos de protocolos de comunicação, desde o protocolo de comunicação industrial entre sensores e CLP até o protocolo OPC integra diversos tipos sistemas.

4.1.3.5 Integration Layer (Camada de integração)

Cria uma interligação entre os ativos e os sistemas de comunicações mais sofisticados. Os elementos de infraestrutura mostram equipamentos que fazem um algum tipo de controle nos equipamentos. Os elementos de tecnologia exibem os modos de assegurar a conexão entre o equipamento e seu controlador. Sistemas de programação e supervisão são descritos nos elementos de sistemas que enviam dados descritos nos elementos de informações como alarmes, falhas, requisitos de manutenção e etc.

4.1.3.6 Asset Layer (Camada de ativos)

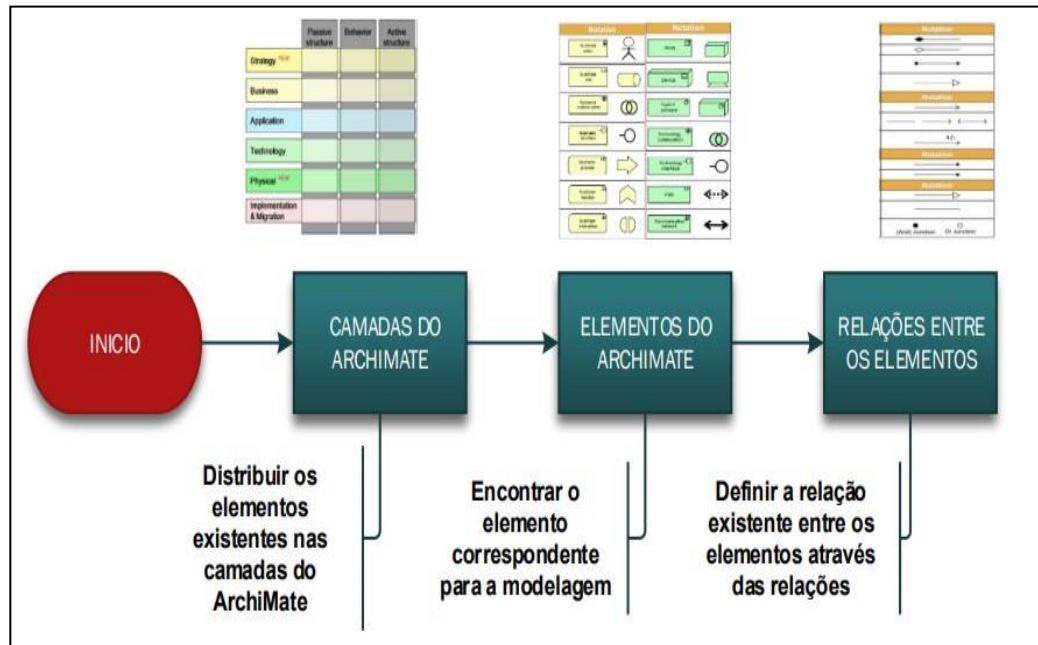
Exibe os recursos usados na manufatura. como equipamentos e materiais descritos nos elementos de infraestrutura. Os elementos de tecnologia mostram uma interligação com os elementos de infraestrutura sendo o primeiro contato de controle dos elementos físicos. Sistemas não muito complexos são descritos como elementos de sistemas para a aquisição de dados dos elementos físicos, e os elementos de informações mostram as informações encontradas pelos sistemas descritos na coluna anterior.

4.2 Procedimento de modelagem

O procedimento de modelagem serve como um guia afim de se modelar a arquitetura na linguagem archimate. O procedimento consiste em receber os elementos coletados pelo estudo de caso e transformar para os elementos presentes na

linguagem de modelagem além de relacioná-los para sua compreensão na modelagem finalizada. A figura 24 descreve o fluxograma da modelagem da arquitetura:

Figura 24 - Fluxograma de modelagem da arquitetura



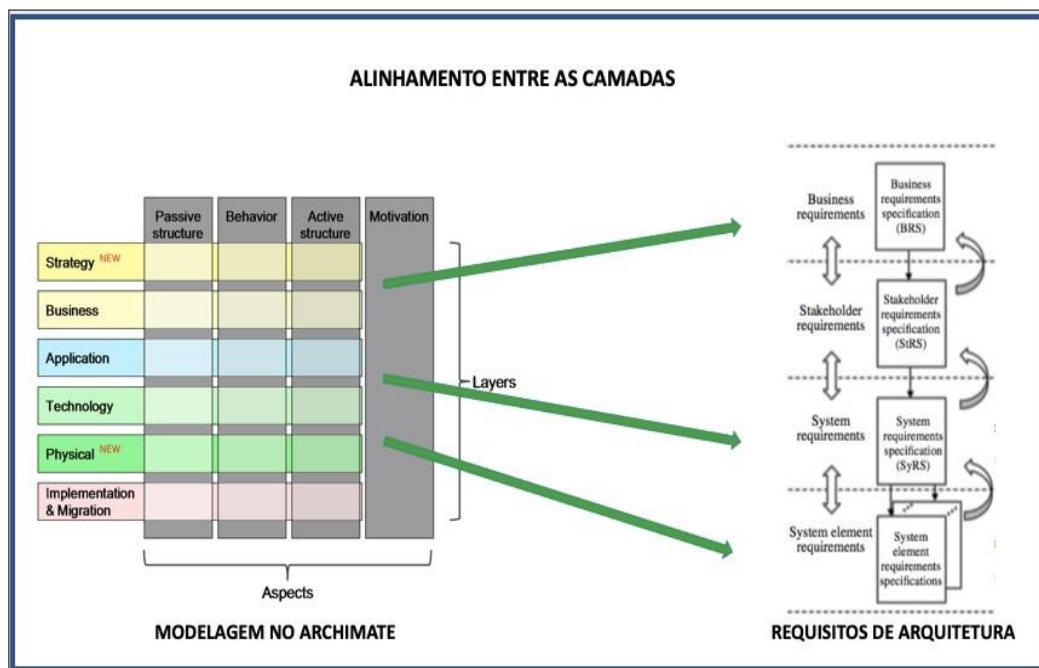
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O processo de modelagem de uma arquitetura proposto consiste em receber os dados adquiridos com o instrumento de coleta e organizar eles em uma ordem para a sua inserção dentro do *software*, para isso primeiramente os dados coletados são relacionados dentro das camadas do ArchiMate. Depois o objetivo se torna em encontrar o elemento correspondente nos elementos da linguagem, já que a linguagem ArchiMate dispõe os elementos de modelagem relacionados com as suas camadas. Após a identificação dos elementos deve-se definir o tipo de relação para realizar a ligação entre dois elementos. Esse processo é de grande importância para a modelagem no *software* pois determina como o fluxo produtivo dentro da arquitetura. E por fim relacionar os elementos descritos durante o instrumento de coleta com os tipos de elementos presentes no *software* ArchiMate para a construção, permitindo inserir dentro do *software* o elemento modelado.

4.2.1 Relacionamento entre os elementos de modelagem de sistemas de automação e o Archimate

A representação dos elementos de arquitetura utilizando-se como base a modelagem no ArchiMate é facilitada pelo alinhamento entre as camadas distribuídas em uma arquitetura de automação e a estrutura de modelagem da linguagem existente no ArchiMate. Esta aderência entre os conceitos de arquitetura e modelagem faz com que as representações de modelos de arquiteturas de automação representem um cenário real para a topologia especificada e permita uma maior facilidade na identificação dos elementos necessários. Na figura 25 é exibido o alinhamento entre as camadas da linguagem do ArchiMate com os requisitos necessários de sistemas de automação.

Figura 25 - Relação entre o ArchiMate e os requisitos de arquiteturas



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.2.2 Tabela de Dados “ARCHIMATE”

Após todos os equipamentos, tecnologia, sistemas, informações e outras funções descritos no módulo de avaliação RAMI 4.0, eles são transportados para a tabela de dados “ARCHIMATE” como o resultado final da coleta de dados, dentro desta tabela descrita na figura 26 é possível observar 4 tabelas na horizontal descritas como Camada de negócios, camada de aplicação, camada tecnológica e camada física. Na vertical pode-se observar 3 colunas descritas como Elementos do Archimate, Definição das Relações e Elemento Relacionado.

Figura 26 - Tabela de Dados "Archimate"

Elementos da linha	Archimate		
	Elementos do Archimate	Definição das Relações	Elemento Relacionado
CAMADA DE NEGÓCIOS			
CAMADA DE APLICAÇÃO			
CAMADA TECNOLÓGICA			
CAMADA FÍSICA			

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Pode-se descrever que a camada de negócios engloba os *Layers* business e *function* (Camadas de negócios e funções) do RAMI 4.0, ou seja toda a parte de gestão empresarial, estratégica e logica, fica descrita nesta camada da arquitetura final.

Na camada de aplicação se encontra todos os tipos de aplicações da arquitetura, sejam eles *softwares*, funções com aplicações mais industriais, dados e informações.

A Camada de tecnologia tem uma correlação com os *Layers integration* e *communication* (Camadas de integração e comunicação) do RAMI 4.0, nessa camada são descritos todos os dispositivos, redes de comunicação, dados e informações.

Por último a camada física que contém todos os equipamentos e materiais que são utilizados no processo de produção, nesta camada são descritos apenas quatro elementos que são os equipamentos, materiais, fábrica e centro de distribuição.

Na coluna elementos do archimate é feita a correlação entre os elementos encontrados em uma arquitetura empresarial real com os elementos presentes no *software* de produção da arquitetura. Os elementos têm concordância também com a camada a ser destinado pois os elementos de *Business* permanecem em sua camada correspondente, assim como os elementos de *application*, *technology* e os elementos físicos.

A Coluna de definição das relações descreve o tipo de relação que existe entre os equipamentos, sistemas, informações e funções de modo que a padronização das relações seja respeitada.

No módulo de avaliação Elemento relacionado mostra o elemento no qual o elemento do primeiro módulo de avaliação está relacionado. Como exemplo quando um sistema descrito na camada de aplicação se relaciona como uma função descrita na camada de negócios, dentro do módulo de avaliação elemento relacionado a determinada função estará na mesma linha do sistema descrito no primeiro módulo de avaliação.

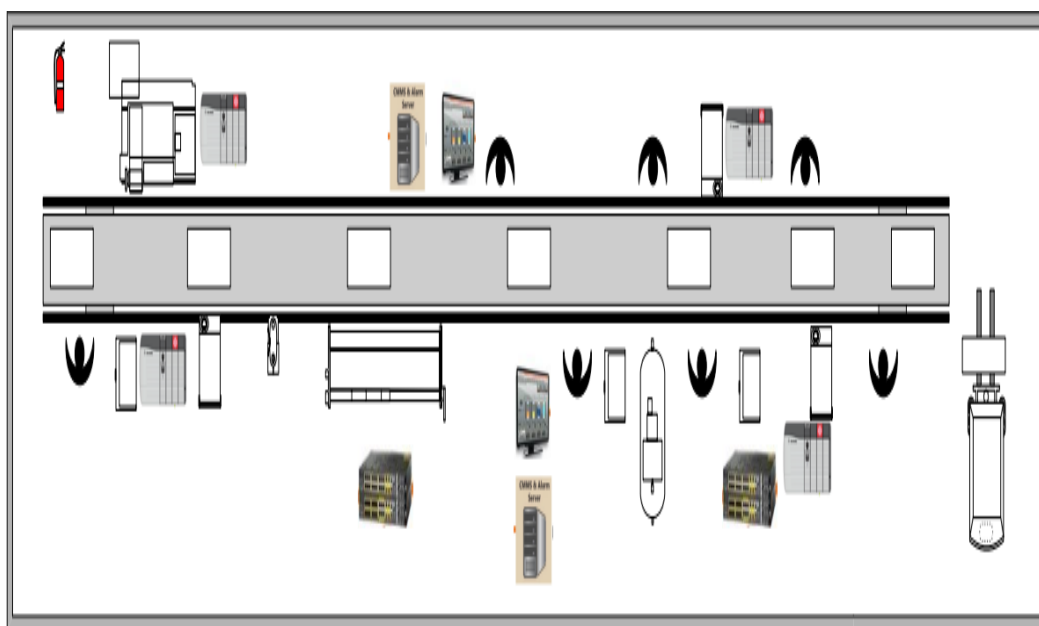
5 ESTUDO DE CASO APLICADO

Durante a fase de pesquisa aos casos exploratórios a identificação das funções, sistemas e tecnologias presentes nos diferentes ambientes industriais auxiliou principalmente na visualização de forma mais abrangente dos sistemas de automação em funcionamento real.

5.1 Descrição do Caso

A escolha de uma plataforma de automação existente no meio industrial de manufatura da linha branca será utilizada como base para publicação de informações, comparação de dados e discussão de resultados. O nome da empresa será preservado, uma vez que o interesse desta pesquisa está voltado exclusivamente para a visão abrangente dos segmentos industriais e centrado na análise de suas arquiteturas de automação.

Figura 27 – Layout da Linha de Produção: Linha Branca

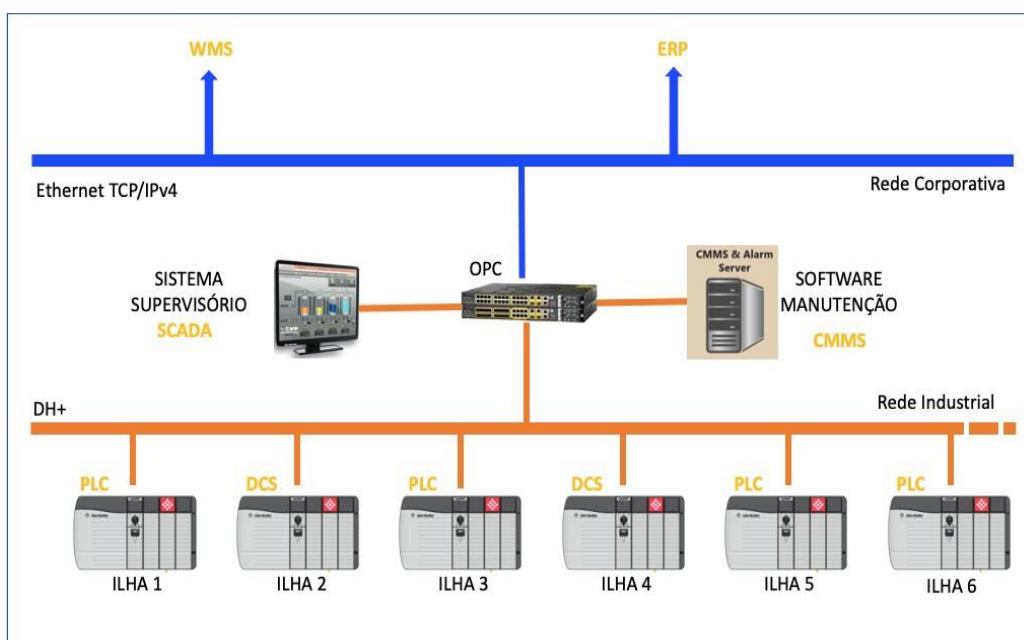


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.1 Topologia da Plataforma de Automação

A identificação dos elementos dentro de uma arquitetura existente permite que os dados sejam comparados aos conceitos consolidados levantados na fase anterior desta pesquisa através de informações obtidas nas literaturas atuais e publicações técnicas sobre o assunto. Estes elementos são fundamentais para a modelagem desta plataforma analisada, que por sua vez, tem o intuito de apresentar, neste passo de pesquisa, uma fotocópia de um caso real em funcionamento e também auxilia a confirmação que a linguagem ArchiMate pode ser uma grande ferramenta para modelagem de arquiteturas. A figura 28 representa a arquitetura original da plataforma de automação analisada. Através dessa figura é possível identificar a integração entre os sistemas utilizados na linha de produção da empresa descrita anteriormente.

Figura 28 – Topologia Existente



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.2 Tecnologias, Sistemas e Funções Existentes

Através da topologia extraída na fase de estudo exploratório, pode-se observar claramente os elementos desta arquitetura. As tecnologias instaladas e os sistemas

embarcados, conforme estudo, auxiliam na visão desta arquitetura e colaboram, junto a opinião dos especialistas, com a definição das funções que hoje os suportam. Abaixo são listados todos estes elementos extraídos para continuidade do trabalho proposto.

Para início de levantamento das informações, os primeiros elementos levantados, são as tecnologias disponíveis conforme lista a seguir:

- Controlador CPU *Guardlogix* 1756-L71S – *Safety A* ->Allen Bradley
- *Software* supervisor SCADA Fix32
- Robótica
- Sistema RFID
- Protocolo de comunicação em OPC
- Protocolo de comunicação em Profibus-DP
- Protocolo de comunicação em *Device Net*
- Redes Ethernet Industrial Corporativa (TCP/IPv4)
- Redes de comunicação *Data Highway* +
- Redes de comunicação ASi

O segundo grupo de elementos principais são os sistemas que compõe a plataforma. Os sistemas são responsáveis pela conexão entre as diferentes partes desta arquitetura, fazendo com que o ciclo de funcionamento e fluxo de informações aconteçam por meio das tecnologias instaladas. A relação destes sistemas é apresentada na lista abaixo:

- *PLC*
- *DCS*
- *SCADA*
- *CMMS*
- *WMS*
- *ERP*

Por fim, com o auxílio dos especialistas, foi possível verificar as funções que agrupam esta arquitetura em funcionamento por meio dos sistemas conectados, conforme relação a seguir:

- Controle contínuo
- Controle de sistemas a evento discreto
- Garantia da qualidade
- Gestão da manutenção
- Programação da produção
- Compras
- Controle do inventário de produtos
- Expedição de produtos
- Processamento de pedidos
- Contabilidade de custos dos produtos

5.2 Instrumento de Coleta de Informações - Resultados

Através da tabela de coleta de dados descrita no capítulo 4, foram inseridas e analisadas as informações presentes no estudo de caso para a realização da arquitetura. Durante o processo de inserção de dados e análise são obtidos os resultados parciais que complementam cada modulo de avaliação até a sua integração entre os elementos existentes e os elementos do *software* que realiza a montagem da arquitetura. Nos itens abaixo foram descritos o resultados parciais de cada modulo de avaliação até a sua finalização com a arquitetura realizada.

5.2.1 Módulo de Avaliação “ISA-95 FUNÇÕES”

Para a avaliação do módulo "ISA-95 FUNÇÕES", a tabela descrita na figura 28 foi entregue aos profissionais treinados e responsáveis da linha de produção para preencher/verificar as funções existentes na linha de produção.

Figura 29 - Módulo de avaliação "ISA-95 Funções"

Módulo de avaliação	N.	1
ISA-95	Versão	v1
Funções	Data:	11/06/2019
Identificar os Processos/Equipamentos abaixo e se identificado, insira X na coluna "Estado atual"		
Estado atual		
Funções		
Processamento de pedidos	X	
Programação da produção	X	
Controle de produção	X	
Controle de material e energia		
Compras	X	
Controle de qualidade	X	
Controle de estoque de pedidos	X	
Contabilidade de Custos	X	
Gestão da manutenção	X	
Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia		
Marketing e Vendas		
Expedição	X	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Com as funções obtidas e descritas na figura 29 foi possível estabelecer a relação entre as funções através da tabela 1. Na tabela 9 é possível quantificar a relação de cada função existente:

Tabela 9 - Tabela de Relações Entre Funções

Funções	Relações Atribuídas	Object Model
Controle de produção	Garantia da qualidade	Defined in terms of the Material Model, 7.3.4
	Gestão da manutenção	7.3.3
	Programação da produção	7.5.3 and 7.5.4
	Contabilidade de custos dos produtos	7.5.3 and 7.5.4
Garantia da qualidade	Controle de produção	7.3.4.9 and 7.5.4
	Processamento de pedidos	<Not detailed in object model>
Gestão da manutenção	Controle de produção	7.3.3
	Compras	<Not detailed in object model>
Programação da produção	Controle de produção	7.5.1 and 7.5.2
	Controle do inventário de produtos	7.5.2
	Processamento de pedidos	<Not detailed in object model>
Compras	Gestão da manutenção	<Not detailed in object model>
Controle do inventário	Programação da produção	7.3.4 and 7.5.4

de produtos	Expedição de produtos	<Not detailed in object model>
Expedição de produtos	Controle do inventário de produtos	<Not detailed in object model>
Processamento de pedidos	Garantia da qualidade	<Not detailed in object model>
	Programação da produção	<Not detailed in object model>
Contabilidade de custos dos produtos	Controle de produção	7.4

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O agrupamento das funções baseado em suas relações, apresentado na tabela acima, pode resumir de forma simples quais modelos de objetos devem ser representados dentro da arquitetura modelada representando de forma fiel a plataforma existente. Desta forma, é possível verificar a necessidade dos seguintes modelos de objetos nesta arquitetura:

- Equipamentos (7.3.3 – *Equipment Model*)
- Materiais (7.3.4 – *Material Model*)
- Definição do produto (7.4 – *Product Definition Model*)
- Programação da produção (7.5.1 e 7.5.2 – *Production Schedule*)
- Performance da produção (7.5.3 e 7.5.4 – *Production Performance Model*)

As relações estabelecidas entre as funções e os modelos de objetos podem mostrar como a arquitetura deverá ser organizada para que o fluxo da cadeia produtiva existente no estudo de caso analisado seja melhor organizado e possa representar através da modelagem os requisitos principais em termos de funções e conceitos da ISA-95 para as arquiteturas.

Estas relações entre as funções e os modelos de objetos orientados pelo padrão ANSI/ISA-95 foram extraídos dentro do estudo de caso analisado. A modelagem através da linguagem ArchiMate desta arquitetura original é apresentada a seguir considerando a relação entre os conceitos da ISA-95 relacionados aos elementos presentes na linguagem ArchiMate para modelagem de Arquiteturas.

5.2.2 Módulo de Avaliação “ISA-95 Modelos de objeto”

Com os modelos de objeto definidos, eles são exibidos dentro do módulo de avaliação com seus conjuntos de dados, onde cada modelo de objeto tem seu título destacado e seus elementos discriminados para a correlação de seus elementos com a análise da arquitetura. A Figura 30 exibe o módulo de avaliação preenchidas com um X na coluna estado atual onde os elementos do modelo de objeto foram relacionados:

Figura 30 - Modulo de Avaliação "ISA-95 Modelos de Objeto"

Módulo de avaliação		Versão	1
ISA-95		Versão	v1
Modelos de objeto		Data:	11/06/2019
Identificar os Processos/Equipamentos abaixo e se identificado, insira X na coluna "Estado atual"			
Estado atual		Estado atual	
7.3.3 Equipment model		7.5.1 e 7.5.2 Production schedule	
Equipamento	X	Pedido de produção	X
Classe de Equipamento	X	Requisito de segmento	X
Propriedade de classe de equipamento		Requisito de pessoal	X
Propriedade do equipamento	X	Requisito de equipamento	X
Especificação de teste de capacidade do equipamento	X	Exigência produzida material	X
Resultado de teste de capacidade de equipamento	X	Requisito de material consumido	X
Informações de manutenção	X	Consumíveis esperados	
		Parâmetro de produção	
		Resposta do segmento solicitada	X
7.3.4 Material model		7.5.3 e 7.5.4 Production performance	
Definição de material	X	Resposta de produção	X
Propriedade de definição de material		Resposta do segmento	X
Classe material	X	Dados de produção	X
Propriedade de classe material		Pessoal Real	X
Lote material	X	Equipamento Real	X
Propriedade do lote material		Material produzido Real	X
Sublot material	X	Material consumido Real	X
Especificação de teste de controle de qualidade	X	Consumo Real	
Resultados do teste de controle de qualidade	X		
7.4 Product definition model			
Segmento de produto	X		
Parâmetro do produto	X		
Especificação de pessoal	X		
Especificação de Equipamento	X		
Especificação de material	X		
Projeto de Fabricação			

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

- Equipamento (7.3.3 *Equipment model*) - Dentro do seu conjunto de elementos para o estudo de caso atual, somente o elemento de “propriedade de classe do equipamento” foi desconsiderado dado a sua abstração e pouca relevância para a arquitetura.
- Material (7.3.4 *Material model*) - O conjunto de elementos do modelo de objeto material descreve diversas informações sobre os materiais, porém os elementos de “propriedade da definição de material”, “propriedade de classe material” e “propriedade de lote do material” não apresentaram funções relativas com a arquitetura do estudo de caso.

- Definição do produto (7.4 *Product definition model*) - Na definição de produto somente o projeto de fabricação não foi relacionado pois a sua definição na ISA-95 se relaciona como uma continuidade das classes de material, elemento que já foi relacionado dentro do modelo de objetos anterior.
- Programação da produção (7.5.1 e 7.5.2 *Production schedule*) - A programação da produção sendo analisada no seu conjunto de objetos descritos em sua maioria relaciona com a arquitetura analisada. Porém dois elementos não apresentam grande relevância para a arquitetura analisada, que são os “consumíveis esperados e os parâmetros de produção”.
- Performance da produção (7.5.3 e 7.5.4 *Production performance*) - O conjunto de elementos da performance da produção descrevem em quase sua totalidade várias funções que compõem a arquitetura analisada, somente o elemento de “consumo real” não apresenta uma compatibilidade para ser representada pela arquitetura.

5.2.3 Módulo de Avaliação “Elementos RAMI 4.0”

No módulo de avaliação “Elementos RAMI 4.0” foi identificado uma série de informações, dados, funções já existentes, além da distribuição dos elementos dos modelos de objeto descritos dentro das camadas do RAMI 4.0 (Anexo B).

- *Business Layer* (Camada de negócios) - Dentro do *Business Layer* foram distribuídos os seguintes elementos dos modelos de objeto:
 - Resposta de produção
 - Resposta do segmento
 - Dados de produção
 - Pessoal Real
 - Equipamento Real
 - Material produzido Real
 - Material consumido Real
 - Especificação de pessoal

Estes elementos em sua totalidade compõem a estrutura do modelo de objeto, Performance da produção (7.5.3 e 7.5.4 *Production performance*) já que grande parte desses elementos descrevem informações e funções relativas a camada de negócios.

- A. Sistemas - O sistema de gestão integrada SAP foi relacionado dado a sua existência no estudo de caso.
- B. Informações - Além das informações contidas para a avaliação foram inseridas outras informações que estão dentro dos processos de negócios, porem são funções específicas do estudo de caso. As informações detalhadas foram:
 - Processamento de pedidos
 - Definição de produto
 - Especificação de material
 - Relatório de estoque
 - Contabilidade de custos
 - Expedição
 - Programação da produção
 - Controle de inventario
 - Registro de pedidos
- Functional Layer (Camada de funções) - Dentro das camadas de funções foram descritos alguns elementos dos modelos de objeto, os elementos relacionados foram:
 - Definição de material
 - Pedido de produção
 - Especificação de teste de controle de qualidade
 - Parâmetro do produto
 - Especificação de teste de capacidade do equipamento
- A. Tecnologia - Dentre os sistemas de tecnologia relacionados, o elemento “*Data Base*” foi inserido dentro como um elemento de tecnologia presente no estudo de caso.

- B. Sistemas - Os sistemas relacionados dentro da coluna, foram em quase a sua totalidade os mesmos sistemas que foram descritos, com exceção de um sistema. Segue abaixo a lista que foi relacionada:
- ERP
 - WMS
 - CMMS
 - SCADA
 - PLC/DCS
- C. Informações - As informações relacionadas e adicionadas dentro da camada de funções foram:
- Dados de fluxo
 - Análise de processos
 - Gerente de produção
 - Designer de produto
 - Garantia da qualidade
 - Gestão da manutenção
 - Dados do controle de qualidade
 - Dados da manutenção
 - Compras
- *Information Layer* (Camada de informações) - Na camada de informações foram distribuídos pela sua camada os seguintes elementos dos modelos de objeto:
 - Requisito de segmento
 - Requisito de pessoal
 - Requisito de equipamento
 - Exigência produzida material
 - Requisito de material consumido
 - Informações de manutenção
 - Resultado de teste de capacidade de equipamento

- A. Infraestrutura - O elemento PC Industrial foi relacionado dentro da coluna de infraestrutura como o elemento presente no estudo de caso.
- B. Sistemas - Dentro dos sistemas relacionados o sistema Windows foi o que encontrou compatibilidade com o estudo de caso.
- C. Informações - Os arquivos em HTML foram relacionados pois sua existência foi relacionada com a análise do estudo de caso.
- *Communication Layer* (Camada de comunicação) - Na camada de comunicações os elementos dos modelos de objeto descritos são exibidos Abaixo:
 - Segmento de produto
 - Especificação de Equipamento
 - Especificação de material

Estes elementos estão descritos e compõem o modelo de objeto “Definição do produto”.

- A. Infraestrutura - A rede de comunicação descrita na infraestrutura foi a rede *Ethernet* que tem relação com o estudo de caso.
- B. Tecnologia - Dentro do grupo de tecnologia foram relacionadas duas formas de comunicação, os protocolos:
 - TCP/IP
 - *DATA HIGHWAY Plus*
- C. Informações - Dentro do grupo de informações foi relacionado a padronização do OPC Server que realiza a integração entre os sistemas de comunicação da arquitetura atual.
- *Integration Layer* (Camada de integração) - Na camada de integração os elementos dos modelos de objeto descritos são:
 - Propriedade de definição de material
 - Propriedade de classe material
 - Propriedade do lote material
 - Resultados do teste de controle de qualidade

Esses elementos compõem o modelo de objeto Material.

- A. Infraestrutura - Dentro da camada de integração no grupo de infraestrutura foi relacionado os elementos:
- Controladores lógicos
 - Interface homem-máquina IHM
- B. Sistemas - O sistema de supervisor foi relacionado pois é um sistema dos sistemas de integração de informações existentes no estudo de caso.
- C. Informações - Os elementos contidos no grupo de informações exibiam alguns elementos que existem também no estudo de caso como:
- Relatórios de produção
 - Monitoramento online
 - Dados de manutenção
 - Teste de qualidade
 - Resultado do teste de qualidade
 - Controle de produção
- *Asset Layer* (Camada de ativos) - Os elementos dos modelos de objetos foram distribuídos dentro da camada de ativos com a sua maioria pertencendo aos modelos de objetos Equipamento e Material, segue abaixo os elementos dos modelos de objeto inseridos:
 - Equipamento
 - Classe de Equipamento
 - Propriedade de classe de equipamento
 - Propriedade do equipamento
 - Lote material
 - Sublote material
 - Classe material
- A. Infraestrutura - Através das relações já descritas dentro dos elementos dos modelos de objeto Equipamento e Material, pode-se analisar que alguns equipamentos já descritos na tabela fazem relação com a arquitetura atual, também foram descritos outros elementos que estão presentes. Segue abaixo a lista de elementos físicos de infraestrutura:

- Motores
 - Válvulas
 - Acionamentos
 - Sensores
 - Robôs
 - Atuadores
 - Contadores
 - Resistências
 - Transportadores
 - Estufa
 - Linha de soldagem
 - Teste vácuo
 - Carrossel de testes
 - Embalagem
 - Material
 - Peças
 - Caixas
 - Motores
- B. Sistemas - Os sistemas de manutenção foram relacionados como o elemento do grupo de sistemas.
- C. Informações - As informações encontradas em correlação com a arquitetura atual foram:
- Dados de manutenção
 - Informações de processos

5.3 Modelagem da Arquitetura Real

Com a definição de todos os elementos encontrados no estudo de caso e descritos no módulo de avaliação “Elementos RAMI 4.0” (ANEXO C), os elementos

contidos vão direto para a tabela modelo ArchiMate onde são descritos dentro das quatro camadas, com suas respectivas representações dentro do *software* archimate.

5.3.1 Camada física

Na camada física foram representados todos os equipamentos e materiais utilizados na linha de produção. Os materiais usados na manufatura, que foram as peças, caixas e motores, foram relacionados em composição com o elemento Material. A relação de composição indica que o elemento relacionado, neste caso material, consiste em um ou mais elementos. A sua visualização no *software* é exibida como os três elementos estão dentro do elemento material.

O elemento material serve de suporte para as linhas de produção descritas como elementos de equipamento. A relação entre o material e as linhas de produção foram descritas como de associação dado a diversidade de outras funções que as linhas de produção executam. As linhas de produção foram discriminadas em 6 grupos, cada um desses grupos se relacionam com alguns equipamentos na camada física através de uma relação de *assignment* “Tarefa” e com outros dispositivos na camada de tecnologia com relações que servem esses dispositivos. A tabela abaixo representa todos os elementos da Camada física e suas respectivas relações com os elementos:

Tabela 10 - Elementos da camada física

Elemento da linha	Elemento do archimate	Tipo de relação	Elemento relacionado
Motores	Equipamento	Assignment	Transportadores, Estufa, Teste Vácuo, Carrossel de testes, Embalagem
Sensores	Equipamento	Assignment	Transportadores, Estufa, Linha de soldagem, Teste Vácuo, Carrossel de testes
Atuadores	Equipamento	Assignment	Transportadores
Contadores	Equipamento	Assignment	Embalagem
Robôs	Equipamento	Assignment	Linha de soldagem
Resistências	Equipamento	Assignment	Estufa
Válvulas	Equipamento	Assignment	Teste vácuo

Transportadores	Equipamento	Serving	CLP Rockwell SLC 500
Estufa	Equipamento	Serving	CLP Rockwell SLC 500
Linha de soldagem	Equipamento	Serving	CLP Rockwell SLC 500
Teste Vácuo	Equipamento	Serving	DCS AC800M
Carrossel de testes	Equipamento	Serving	DCS AC800M
Embalagem	Equipamento	Serving	PC Industrial
Material	Material	Association	Transportadores, Estufa, Linha de soldagem, Teste Vácuo, Carrossel de testes, Embalagem
Peças	Material	Composition	Material
Caixas	Material	Composition	Material
Motores	Material	Composition	Material

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.3.2 Camada de tecnologia

Na camada de tecnologia são descritos os dispositivos de tecnologia, elementos fundamentais que realizam a integração entre os elementos físicos da linha e os *softwares* que estão na camada acima, as relações entre os dispositivos e os elementos da camada física que já foram descritas anteriormente. Já a relação dos dispositivos com os *softwares* da camada acima é relacionada através das redes de comunicação que estão descritas na camada de comunicação.

As redes de comunicação Industrial *Ethernet* (IPV4) e *Data Highway plus* (DH+) se interligam através do servidor *OPC Server*, através de uma relação de associação, além da rede *Ethernet* industrial (IPV4) servir os *softwares* *MS Windows 2000* (CMMS) e *RS View 32*, e a Rede *Data highway plus* (DH+) serve o *software* de programação *RS LINX*. Já o *OPC server* serve os *softwares* *SAP R/3* e *SAP R/3 MM* através de uma relação de *serving*.

O controle de produção foi descrito como uma função de tecnologia dado a sua relação com as funções físicas de manufatura. Os elementos “dados de produção”, “relatórios de produção”, “resultado do teste qualidade” e “teste de qualidade” que compõem o controle de produção foram relacionados com uma relação de *composition*

“composição” ao controle de produção. Abaixo será exibido uma tabela com todos os elementos da camada de tecnologia e suas respectivas relações com os elementos:

Tabela 11 - Elementos da camada de tecnologia

Elemento da linha	Elemento do archimate	Tipo de relação	Elemento relacionado
Controle de produção	Technologic Function	Flow relation	Prog. Produção, Controle De Produção
IHM Allen Bradley PanelView	Device	Association	CLP Rockwell SLC 500
CLP Rockwell SLC 500	Device	Relation	Rede Data Highway plus (DH+)
Industrial Ethernet (IPV4)	Communication network	Association	OPC Server, RS View 32
Rede Data Highway plus (DH+)	Communication network	Association	OPC Server
OPC Server	Communication network	Serving	SAP R/3, SAP R/3 MM
Supervisório SCADA	Device	Serving	Industrial Ethernet (IPV4)
DCS AC800M	Device	Serving	Industrial Ethernet (IPV4)
PC Industrial	Device	Serving	Industrial Ethernet (IPV4)
Dados de produção	Technologic Event	Composition	Controle de produção
Relatórios de produção	Technologic Event	Composition	Controle de produção
Resultado do teste de qualidade	Technologic Event	Composition	Controle de produção
Teste de qualidade	technologic Service	Composition	Controle de produção

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.3.3 Camada de aplicação

Na camada de aplicação além dos *softwares* são descritos uma serie de dados e informações, como um elemento de dados chamado “*data object*”. Os elementos relacionados como dados foram distribuídos às suas respectivas funções de aplicação. Os elementos, “Dados de manutenção” e “Dados de fluxo” se relacionam com a gestão da manutenção e os elementos “Dados do controle de qualidade” e “Informações do processo” se relacionam com a garantia da qualidade.

As funções “Garantia da qualidade” e “Gestão da manutenção” que são realizadas com o *software* MS Windows 2000 (CMMS) através da relação de *realization*

“realização”, essas duas funções também se relacionam com o controle de produção através de uma relação de “flow” fluxo. Abaixo será exibido uma tabela com todos os elementos da camada de negócios e suas respectivas relações com os elementos:

Tabela 12 - Elementos da camada de aplicação

Elemento da linha	Elemento do archimate	Tipo de relação	Elemento relacionado
RSLINX	Application component	Serving	Rede Data Highway plus (DH+)
MS Windows 2000 (CMMS)	Application component	Serving	Industrial Ethernet (IPV4)
RS View 32	Application component	Serving	Industrial Ethernet (IPV4)
SAP R/3	Application component	Realization	Processamento de pedidos, Contabilidade
SAP R/3 MM	Application component	Realization	Programação da produção, Controle de inventario, Expedição de produtos, Compras
Garantia da qualidade	Application function	Flow	Processamento de Pedidos
Gestão da manutenção	Application function	Flow	Compras
Data base	Data Object	Association	SAP R/3
Dados do controle de qualidade	Data Object	Access	Garantia da qualidade
Dados de manutenção	Data Object	Access	Gestão da manutenção
Dados de Fluxo	Data Object	Access	Gestão da manutenção
Informações de processo	Data Object	Access	Garantia da qualidade

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.3.4 Camada de negócios

Na camada de negócios são descritas todas as funções em 6 grandes grupos: Contabilidade de custos, Expedição, Processamentos de pedidos, Compras, Programação da produção e Controle de inventário. Dentro dessas funções são relacionados as informações de negócios e os atores.

Foram definidos como *Business object* “objeto de negócios” as informações: Definição de produto, Especificação de material, Registro de pedidos, Relatório de

estoque e Análise de processos, todas elas se relacionam com as suas respectivas funções através da relação de access “Acesso”.

Os elementos Gerente de produção e Designer de produto, foram descritos no archimate como atores do processo, com o elemento *Business actor* “Ator de negócios”. Cada um respectivamente se relaciona com as funções de Programação da produção e contabilidade de custos. Abaixo será exibido uma tabela com todos os elementos da camada de negócios e suas respectivas relações com os elementos:

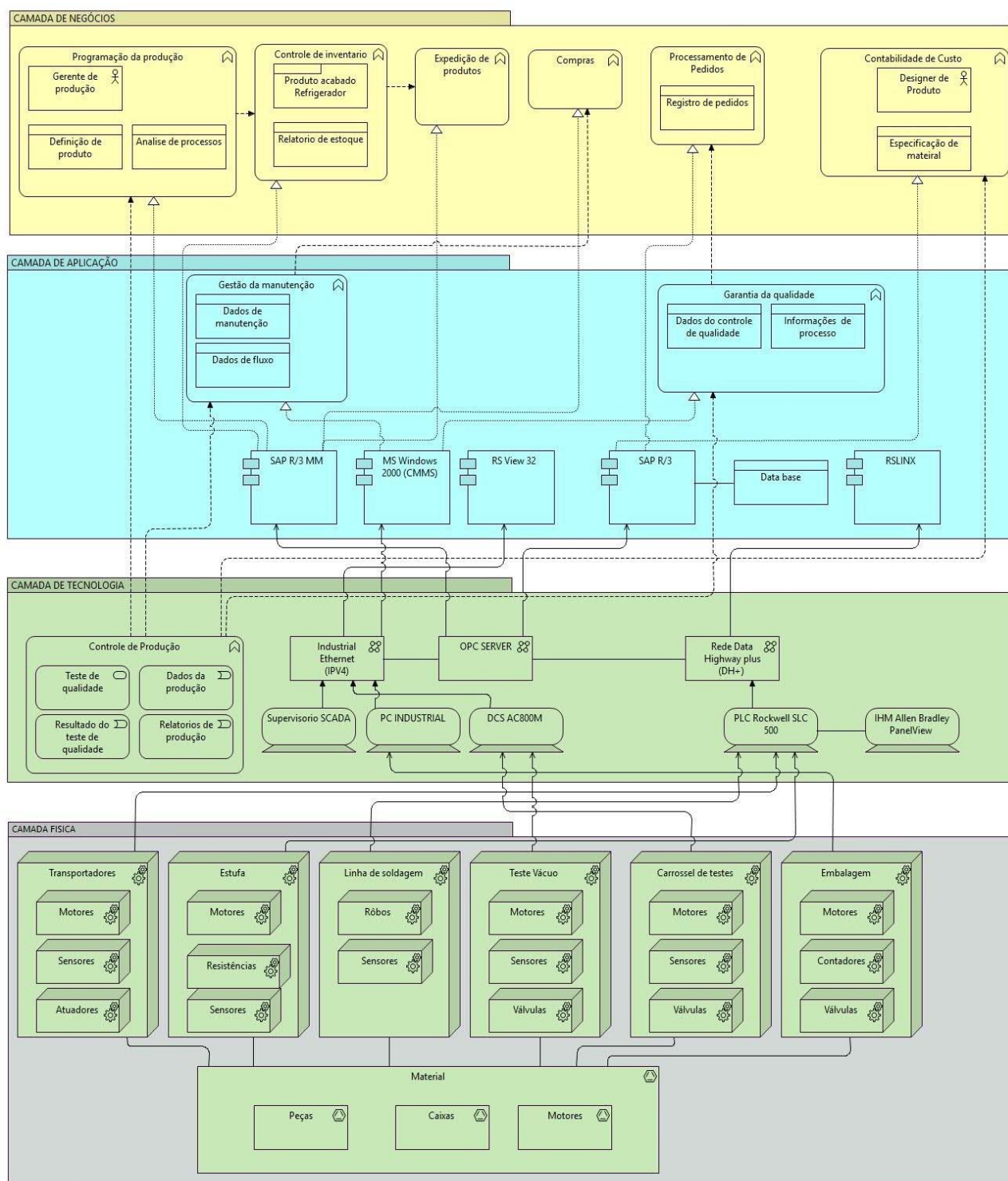
Tabela 13 - Elementos da camada de negócios

Elemento da linha	Elemento do archimate	Tipo de relação	Elemento relacionado
Contabilidade de Custos	Business Function	Flow, Realization	Controle de produção, SAP R/3
Expedição	Business Function	Flow, Realization	Controle de Inventario, SAP R/3 MM
Processamento de pedidos	Business Function	Flow, Realization	Garantia de qualidade, SAP R/3
Compras	Business Function	Flow, Realization	Gestão da manutenção, SAP R/3 MM
Gerente de produção	Business actor	Assignment	Programação da produção
Designer de Produto	Business actor	Assignment	Contabilidade de Custos
Programação da Produção	Business Function	Flow	Controle de Inventario
Controle de Inventario	Business Function	Flow	Expedição
Produto acabado Refrigerador	Product	Assignment	Controle de Inventario
Definição de Produto	Business Object	Access	Programação da produção
Especificação de Material	Business Object	Access	Contabilidade de Custos
Registro de Pedidos	Business Object	Access	Processamento de pedidos
Relatório de Estoque	Business Object	Access	Controle de Inventario
Análise de processos	Business Object	Access	Programação da produção

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A partir das tabelas acima com todos os dados inseridos no *software ArchiMate*, foi apresentado o seguinte resultado de arquitetura na figura 31.

Figura 31 - Arquitetura Final Modela no ArchiMate



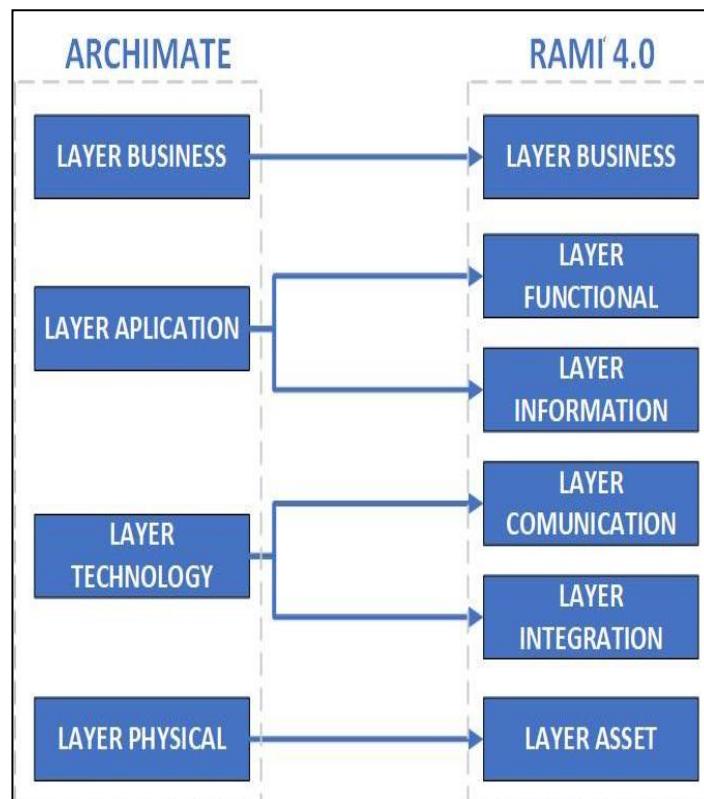
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.4 Discussões do Resultado

A corrente pesquisa tem como um dos propósitos, além da identificação do estado atual da arquitetura em funcionamento, fazer uma analogia com vistas aos elementos do RAMI 4.0 tendo em vista, este ser um dos modelos de referência para suporte aos conceitos da indústria 4.0 no cenário atual.

Desta forma, observando a segunda dimensão do modelo referencial RAMI 4.0, onde as camadas são abordadas, existe uma identificação clara com as camadas da notação de linguagem ArchiMate. Assim, pode-se fazer uma correlação entre estas camadas podendo-se acomodar os elementos de uma arquitetura de maneira alinhada aos princípios da I4.0 conforme a figura 32:

Figura 32- Relação entre as camadas do "ArchiMate e RAMI 4.0"

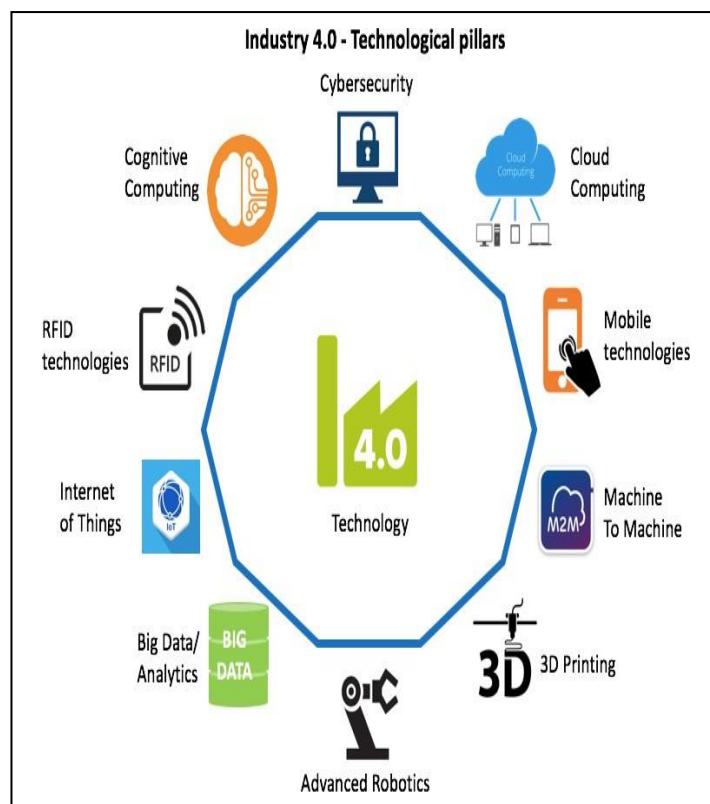


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Em razão da linguagem de modelagem ArchiMate ter este alinhamento claro aos elementos do modelo referencial RAMI 4.0, é possível então ir um pouco adiante com esta análise e utilizar o modelo representado acima na figura 32 extraído do estudo de

caso proposto para uma análise voltada a identificação de possíveis oportunidades de inclusão de novos elementos da I4.0 nesta arquitetura com vistas a propor uma evolução desta arquitetura orientando a um alinhamento aos conceitos da indústria 4.0. Inclusive, a robótica é um dos elementos com suporte a I4.0 e está presente na arquitetura representada. No entanto, pode-se ainda observar nesta arquitetura atual uma significativa carência tecnológica em termos de arquitetura para a indústria conectada. Esta percepção fica muito evidente quando se observa os principais elementos de tecnologia encontrados na literatura com suporte aos conceitos da I4.0. Na figura 33 é apresentado estes elementos com base nos estudos anteriores desta pesquisa.

Figura 33- Technologies for Industry 4.0.



Fonte: Saturno et al. (2017)

Avaliando-se cada camada representada no ArchiMate para a arquitetura desta planta, uma possível oportunidade de inclusão de novas tecnologias para um melhor alinhamento desta estrutura aos conceitos de uma arquitetura para uma indústria conectada. Abaixo é sugerido alguns destes conceitos tecnológicos com objetivo de

propor uma evolução da planta de forma orientada aos conceitos de uma fábrica inteligente.

Sugestões para upgrade do da arquitetura com vistas a I4.0 a partir da arquitetura atual extraída da planta:

1. Camada Física: A manufatura desta planta em produção contínua requer uma rastreabilidade precisa e com informações que possam ser distribuídas em tempo real durante todo o ciclo de produção. A inclusão da tecnologia *RFID Technologies* pode trazer este benefício a esta arquitetura e alimentar as camadas superiores com todas as informações durante toda a transição do processo permitindo uma tomada de decisão em qualquer tempo.
2. Camada Tecnológica: Nesta camada a inclusão de *Mobile Technologies* pode trazer maior agilidade no acesso aos equipamentos e sistemas em funcionamento uma vez que este acesso poderá ser realizado inclusive a distância. A agilidade aos diagnósticos dos sistemas e consultas às informações de produção, possibilitam agilidade a manutenção para intervenções planejadas e também uma maior flexibilidade a área de planejamento (PCP - Planejamento e controle da produção) para alteração de produção a qualquer momento.
3. Camada de Aplicação: A inclusão de um sistema de *BIG DATA* pode ser o maior benefício a camada de aplicação. Esta tecnologia pode servir de suporte a todas informações do sistema possibilitando a análise de dados com maior precisão, segurança e em tempo real. Tomadas de decisões podem ser realizadas com maior confiabilidade e assertividade. Trata-se de um investimento considerável quando comparado às demais tecnologias sugeridas, no entanto, esta pode ser a melhoria com maior ganho para toda arquitetura.
4. Camada de Negócios: Contar com o armazenamento em nuvem utilizando a tecnologia de *Cloud Computing* é, sem dúvida, um caminho natural para as novas soluções. A inclusão desta tecnologia para a arquitetura avaliada, pode trazer uma maior integração a arquitetura geral.

CONCLUSÃO

Analisar uma arquitetura em funcionamento é o primeiro passo no sentido a evolução de uma planta em funcionamento.

Este estudo buscou realizar o levantamento das principais informações em uma planta existente através da construção de um Instrumento de Coleta desenvolvido para orientar passo a passo a estruturação das informações extraídas da arquitetura em evidência. Esta coleta orientada de dados é organizada de acordo com a composição dos principais elementos da ISA-95 que é um modelo consolidado no campo de arquiteturas junto aos elementos do modelo RAMI 4.0, sendo este um referencial já orientado para novas arquiteturas no sentido aos conceitos da indústria 4.0. Esta composição procurou retratar a apresentação de uma arquitetura em seu estado atual considerando os pontos de vistas para evolução desta arquitetura para alinhamento a indústria conectada.

Dentre as principais colaborações apresentadas no decorrer desta pesquisa através da dissertação “Framework para Modelagem de Sistemas de Automação com Vista a Industria 4.0”, pode-se evidenciar como maiores contribuições:

- A criação de uma ferramenta para coleta de informações através de um Instrumento de Coleta capaz de extrair os principais elementos de uma arquitetura em funcionamento, estreitando de forma estruturada a relação entre os elementos do sistema e possibilitando uma visão real do estado atual da planta analisada. O instrumento de coleta possibilita ao planejador:
 1. Promover a classificação das informações coletadas seguindo as definições de uma arquitetura;
 2. Estabelecer uma relação estruturada entre os elementos desta arquitetura alinhando conceitos consolidados existentes aos elementos de novas referências;
 3. Permitir uma visão mais clara entre os elementos e componentes que suportam as funções existentes no estado atual da arquitetura;
 4. Servir como suporte para modelagem de novas arquiteturas.

- O desenvolvimento de um Procedimento de Modelagem de Arquitetura de Sistemas de Automação como suporte para atender os princípios de Indústria 4.0 na evolução de uma arquitetura em atual funcionamento através do estímulo a identificação de lacunas presentes nos sistemas atuais. Esta visão do estado atual poderá:
 1. Auxiliar na identificação de possíveis lacunas existentes nas arquiteturas em funcionamento;
 2. Possibilitar um maior detalhamento na especificação de componentes e dispositivos com maior interoperabilidade entre os sistemas para aplicação;
 3. Incentivar os investimentos em novas tecnologias para evolução desta plataforma estejam alinhados aos conceitos da Indústria 4.0.
 4. Oferecer uma visão da solução com maior facilidade na identificação dos pontos de tomadas de decisão no sentido de dar características de autonomia a planta.

A aplicação da coleta de dados utilizando o instrumento de coleta para o caso da indústria de manufatura líder mundial em linha branca, nesta pesquisa produziu resultados interessantes em termos de avaliação do seu estado atual.

A linguagem de modelagem ArchiMate foi utilizada para representar esta arquitetura a partir dos resultados fornecidos pelo instrumento de coleta. Esta representação através da notação ArchiMate permitiu apresentar tanto o estado atual da planta analisada, como possibilitou identificar espaços para sugestão de novas tecnologias em cada uma de suas camadas que permitam evoluir de forma mais orientada esta arquitetura para um estágio mais aderente aos conceitos da I4.0.

A presente pesquisa apresentou resultados importantes para apresentação de uma arquitetura existente e procurou dar pistas no sentido da evolução destas arquiteturas para estágios mais consistentes no que diz respeito a I4.0.

Este estudo utilizou um estudo de caso para aplicação do protocolo de pesquisa e publicação dos resultados através da modelagem de uma arquitetura existente. Pesquisas futuras utilizando-se mais estudos de caso como referência pode auxiliar na

melhoria dos resultados e refinamento das informações no sentido as novas propostas de arquiteturas a partir da comparação entre os dados coletados em arquiteturas existentes de diferentes segmentos de mercado.

REFERÊNCIAS

ZHONG, R. Y., X. Xu, E. Klotz, and S. T. Newman, “**Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review,**” *Engineering*, vol. 3, no. 5, pp. 616–630, 2017

LU, Yan; MORRIS, K. C.; FRECHETTE, Simon. Standards landscape and directions for smart manufacturing systems. In: **2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)**. IEEE, 2015. p. 998-1005.

PCAST, AMP. **Steering Committee Report-Accelerating US Advanced Manufacturing**. 2014.

RYAN, Michael J. 3.3. 1 An Improved Taxonomy for Major Needs and Requirements Artifacts. In: **INCOSE International Symposium**. 2013. p. 244-258.

LI, Qing et al. Smart manufacturing standardization: Architectures, reference models and standards *framework*. **Computers in Industry**, v. 101, p. 91-106, 2018.

MINISTRY OF INDUSTRY AND INFORMATION TECHNOLOGY OF CHINA (MIIT) and Standardization Administration of China (SAC), **National Intelligent Manufacturing Standards Architecture Construction Guidance**, (2015) (in Chinese).

ISO/IEC 62264, “**Enterprise-control system integration**” Part 1: Models and terminology (2003), Part 2: Object model attributes (2004) and Part 3: Activity models of manufacturing operations management (2007).

SATURNO, Maicon & Moura Pertel, Vinícius & Deschamps, Fernando. (2017). **Proposal of an automation solutions architecture for Industry 4.0**.

BRANDL D, Consulting B (2008) **What is ISA-95? Industrial Best Practices of Manufacturing Information Technologies with ISA-95 Models**

LANKHORST, M. **Enterprise Architecture at Work: Modeling, Communication and Analysis**. 3rd. ed. [S.l.]: Springer, 2012. 364 p. (The Enterprise Engineering Series).

ANSI/ISA S95.00.03-2005 Part 3. **Enterprise-control system integration - Activity Models of Manufacturing Operations Management**. Norma técnica internacional 2005.

THE OPEN GROUP. *ArchiMate 2.0 Translation Glossary: English – Brazilian Portuguese*. 2013..

ISO. *ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and software engineering – Architecture description*. Switzerland, 2011.

SOUZA, G.; AKEN, E. V.; GROESBECK, R. **Applying an enterprise engineering approach to engineering work: a focus on business process modeling.** *Engineering Management Journal*, v. 14, n. 3, p. 15–24, 2002.

ROZANSKI, N.; WOODS, E. **Software Systems Architecture: Working With Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives.** 2nd. ed. [S.l.]: Addison Wesley, 2011.

DUARTE, J. **Uma Arquitetura Ágil da Informação Organizacional.** Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, Faculdade de Ciência da Informação, Brasília, 2011.

BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. **Software Architecture in Practice.** 3rd. ed. Boston: Addison Wesley, 2012. 640 p.

CLEMENTS, P. Understanding architectural influences and decisions in large-system projects. In: **First International Workshop on Architectures for Software Systems.** [S.l.: s.n.], 1995.

GARLAN, D.; KOMPANEK, A. **Reconciling the needs of architectural description with object-modeling notations.** *Science of Computer Programming Journal*, v. 44, n. 1, p. 23–49, 2002.

KHOURY, G. **A Unified Approach to Enterprise Architecture Modeling.** Tese (Doutorado) — University of Technology, Faculty of Information Technology, Sidney, 2007.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **The Unified Modeling Language User Guide.** 2nd. ed. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley Professional, 2005. 496 p.

OMG. **OMG Unified Modeling Language (OMG UML) Infrastructure, version 2.4.1.** 2011.

MEDVIDOVIC, N. et al. **Modeling software architecture in the unified modeling language.** *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, v. 11, n. 1, p. 2–57, January 2002.

THE OPEN GROUP. **ArchiMate 2.0 Specification.** [S.l.]: Van Haren Publishing, 2012. 216 p.

DIN. DIN SPEC 91345:2016-04, **Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0).** Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.; 2016.

IEC. IEC 62264:2013: ISA95 – **Enterprise-control system integration.** International Electrotechnical Commission; 2013.

SATURNO, M., Pierin Ramos, L.F., Polato, F., Deschamps, F. and Rocha Loures. E.F. **"Evaluation of interoperability between automation systems using multi-criteria methods."** Procedia Manufacturing 00 (2017) 001–008.

IEEE, " **IEEE Recommended Practice for Architecture Description of Software-Intensive Systems.**" ANSI/IEEE Std 1471, ISO/IEC 42010, 2000.

DYER, A. **"Measuring the Benefits of Enterprise Architecture."** In: SAHA, P. Advances in government enterprise architecture. New York: Information Science Reference, 2009.

ZAIDAN, F. **"UTILIZAÇÃO DE UM MODELO DE ARQUITETURA CORPORATIVA NA MINERAÇÃO DE DADOS."** 12th International Conference on Information Systems & Technology Management - Contecsi.

ZACHMAN, J. A. **"A Framework for Information Systems Architecture."** IBM Systems Journal, vol. 26, no. 3, 1987, pp. 276–292.

THE OPEN GROUP. **" The Open Group Architectural Framework."** TOGAF 8.1.1 'The Book', Van Haren, 2007.

U.S. Department of Defense. **" DoD Architecture Framework Version 1.5."** Volume II: Product Descriptions, 2007.

ISO/ITU-T. **"Open Distributed Processing - Reference Model."** International Standard ISO/IEC 10746, 1995.

SCHEER, A.W. **"ARIS – Business Process Modeling."** Third Edition, Springer, 1999.

WIERDA, G. **"Mastering ArchiMate."** 4th Printing. The Netherlands: Screen Edition, 2013.

DIN. DIN SPEC 91345:2016-04, **Reference architecture model industrie 4.0 (RAMI4.0).** Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.; 2016.

INCOSE. 2015. **Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities**, version 4.0. Hoboken, NJ, USA: John Wiley and Sons, Inc, ISBN: 978-1-118-99940-0 William magalhaes.

VENTURELLI, Marcio. **Rami - Padronização da indústria 4.0** (2017). Disponível em: <<https://marcioventurelli.com/2017/07/19/rami-padronizacao-da-industria-4-0/>> Acesso em 03 jul. 2019

Schweichhart K, Platform Industrie 4.0 and ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie). (2016). Referential Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Available in: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhartreference_architectural_model_industrie_4.0_rami_4.0.pdf. Accessed in 2017-09-08.

ANEXO A - MÓDULO DE AVALIAÇÃO “ELEMENTOS DO RAMI 4.0”

Módulo de avaliação
Elementos do RAMI 4.0
Camadas

N. Versão
Data:

1
v1
11/06/2019

Seguinte

Identificar os Processos/Equipamentos abaixo e se identificado, insira X na coluna "Estado atual"								
1. Business Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
	SERVIDOR EXCLUSIVO ERP		NUVEM		SAP		PROCESSAMENTO DE PEDIDOS	
	SISTEMA OPERACIONAL		SaaS		ORACLE		DEFINIÇÃO DE PRODUTO	
	LICENÇAS DE SOFTWARE		SOLUÇÕES EM BPM		TOTVS		ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAL	
	REDE INTEGRADA EM TODOS OS NÍVEIS		INTERFACE DE USUÁRIOS		SAGE		RELATÓRIO DE ESTOQUE	
	CRM		CLOUD COMPUTING		SYSPRO		OUTROS:	
	THIN CLIENT		INTERFACE JAVA		DYNAMICS			
	REDE INTEGRADA EM TODOS NÍVEIS		SERVIDOR WEB		SGBD			
	OUTROS:		NAVEGADOR WEB		SIG			
			OUTROS:		BPM			
					SaaS			
					OUTROS:			
2. Functional Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
	INTERFACE DE COMUNICAÇÃO		USUARIO LOCAL		ERP		DADOS DE FLUXO	
	SERVIDOR CENTRAL		ACESSO REMOTO		CRM/HRM		INFORMAÇÕES DE EVENTOS	
	ARQUIVAMENTO DE DADOS		ANÁLISE AVANÇADA		WMS		REGISTROS DE PRODUTOS	
	INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS		GERENCIAMENTO DE DADOS		CMMS		ANÁLISE DE PROCESSOS	
	CLOUD COMPUTING		REGISTRO EM BANCO DE DADOS		SCADA		OUTROS:	
	OUTROS:		OUTROS:		PLC/DCS			
					OUTROS:			
3. Layer Information	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
	DATA CENTER		BIG DATA		MES/MOM		XML	
	OPC DISTRIBUTED/PARALLEL COMPUTING		SOL SERVER		OEE/OLE		HTML	
	SERVIDOR CENTRAL		PEER-to-PEER		WCM		KPIs	
	PC INDUSTRIAL		CLIENT - SERVIDOR		PIMS		TABELAS BD	
	HD DE BACKUP		TECNOLOGIA RFID		SISTEMA HISTORIAN		OUTROS:	
	ARMAZENAMENTO FISICO		OUTROS:		SISTEMA WINDOWS			
	OUTROS:				OUTROS:			
4. Communication Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
	WIRELESS		WIFI		SWITCH GERENCIÁVEL		OPC UA	
	FIBRA ÓTICA		WIRELESS		SWITCH NÃO GERENCIÁVEL		OPC SERVER	
	RADIO FREQUÊNCIA		BLUETOOTH		SERVIDOR DE COMUNICAÇÃO		PROFINET	
	ETHERNET		TCP/IP		ROTEADOR		MODBUS TCP	
	RS485/RS232		DATA HIGHWAY DH+		HUB		PROFIBUS-DP	
	CONTATO ELÉTRICO		OUTROS:		OUTROS:		PROFIBUS-PA	
	OUTROS:						ASI	
							IEC-61850	
							OUTROS:	
5. Integration Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
	CONTROLADORES LÓGICOS		REDUNDÂNCIA		SISTEMAS SUPERVISÓRIOS		GRÁFICOS DE TENDÊNCIAS	
	INTERFACE HOMEM-MÁQUINA-IHM		I/O SYSTEM		SOFTWARE LINGUAGEM PROG. CLP		MENSAGENS DE ALARMES	
	SDCD		MOTION CONTROL		SOFTWARE GERENCIAMENTO REDE		RELATÓRIOS DE PRODUÇÃO	
	CNC		MODULARIDADE DE COMPONENTES		MANUTENÇÃO REMOTA		MONITORAMENTO ONLINE	
	INVERSORES/DRIVES		OUTROS:		OUTROS:		DIAGNÓSTICOS DE FALHAS	
	REMOTE I/O						DADOS DE MANUTENÇÃO</	

ANEXO B - MÓDULO DE AVALIAÇÃO “ELEMENTOS DO RAMI 4.0” RESULTADOS

Módulo de avaliação		N.	1					
Elementos RAMI 4.0		Versão	v1					
Camadas		Data:	11/06/2019					
Segunda								
Identificar os Processos/Equipamentos abaixo e se identificado, insira X na coluna "Estado atual"								
1. Business Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
Resposta de produção	SERVIDOR EXCLUSIVO ERP		NUVEM		SAP	X	PROCESSAMENTO DE PEDIDOS	X
Resposta do segmento	SISTEMA OPERACIONAL		SaaS		ORACLE		DEFINIÇÃO DE PRODUTO	X
Dados de produção	LICENÇAS DE SOFTWARE		SOLUÇÕES EM BPM		TOTVS		ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAL	X
Pessoal Real	REDE INTEGRADA EM TODOS OS NÍVEIS		INTERFACE DE USUÁRIOS		SAGE		RELATÓRIO DE ESTOQUE	X
Equipamento Real	CRM		CLOUD COMPUTING		SYSPRO		OUTROS:	
Material produzido Real	THIN CLIENT		INTERFACE JAVA		DYNAMICS		CONTABILIDADE DE CUSTOS	X
Material consumido Real			SERVIDOR WEB		SGBD		EXPEDIÇÃO	X
Especificação de pessoal	OUTROS:		NAVEGADOR WEB		SIG		PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	X
			OUTROS:		BPM		CONTROLE DE INVENTÁRIO	X
					SaaS		REGISTRO DE PEDIDOS	X
					OUTROS:			
2. Functional Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
Definição de material	INTERFACE DE COMUNICAÇÃO		USUÁRIO LOCAL		ERP	X	DADOS DE FLUXO	X
Pedido de produção	SERVIDOR CENTRAL		ACESSO REMOTO		CRM/HRM		INFORMAÇÕES DE EVENTOS	
Especificação de teste de controle de qualidade	ARQUIVAMENTO DE DADOS		ANÁLISE AVANÇADA		WMS	X	REGISTROS DE PRODUTOS	
Parâmetro do produto	INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS		GERENCIAMENTO DE DADOS		CMMS	X	ANÁLISE DE PROCESSOS	X
Especificação de teste de capacidade do equipam	CLOUD COMPUTING		REGISTRO EM BANCO DE DADOS		SCADA	X	OUTROS:	
	OUTROS:		OUTROS:		PLC/DCS	X	GERENTE DE PRODUÇÃO	X
			DATA BASE	X	OUTROS:		DESIGNER DE PRODUTO	X
							GARANTIA DA QUALIDADE	X
							GESTÃO DA MANUTENÇÃO	X
							DADOS DO CONTROLE DE QUALIDADE	X
							DADOS DA MANUTENÇÃO	X
							COMPRAS	X
3. Information Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
Requisito de segmento	DATA CENTER		BIG DATA		MES/MOM		XML	
Requisito de pessoal	DPC DISTRIBUTED/PARALLEL COMPUTING		SOL SERVER		OEE/OLE		HTML	X
Requisito de equipamento	SERVIDOR CENTRAL		PEER-to-PEER		WCM		KPIs	
Exigência produzida material	PC INDUSTRIAL	X	CLIENT - SERVIDOR		FIMS		TABELAS BD	
Requisito de material consumido	HD DE BACKUP		TECNOLOGIA RFID		SISTEMA HISTORIAN		OUTROS:	
Informações de manutenção	ARMAZENAMENTO FÍSICO		OUTROS:		SISTEMA WINDOWS	X		
Resultado de teste de capacidade de equipamento	OUTROS:				OUTROS:			
4. Communication Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
Segmento de produto	WIRELESS		WIFI		SWITCH GERENCIÁVEL		OPC UA	
Especificação de Equipamento	FIBRA ÓTICA		WIRELESS		SWITCH NÃO GERENCIÁVEL		OPC SERVER	X
Especificação de material	RÁDIO FREQUÊNCIA		BLUETOOTH		SERVIDOR DE COMUNICAÇÃO		PROFINET	
	ETHERNET	X	TCP/IP	X	ROTEADOR		MODBUS TCP	
	RS485/RS232		DATA HIGHWAY DH+	X	HUB		PROFIBUS-DP	
	CONTATO ELÉTRICO		OUTROS:				PROFIBUS-PA	
	OUTROS:						ASI	
							IEC-61850	
					OUTROS:		OUTROS:	
5. Integration Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
Propriedade de definição de material	CONTROLADORES LÓGICOS	X	REDUNDÂNCIA		SISTEMAS SUPERVISÓRIOS	X	GRÁFICOS DE TENDÊNCIAS	
Propriedade de classe material	INTERFACE HOMEM-MÁQUINA-IHM	X	I/O SYSTEM		SOFTWARE LINGUAGEM PROG. CLP		MENSAGENS DE ALARMES	
Propriedade do lote material	SDCD		MOTION CONTROL		SOFTWARE GERENCIAMENTO REDE		RELATÓRIOS DE PRODUÇÃO	X
Resultados do teste de controle de qualidade	CNC		MODULARIDADE DE COMPONENTES		MANUTENÇÃO REMOTA		MONITORAMENTO ONLINE	X
	INVERSORES/DRIVES						DIAGNÓSTICOS DE FALHAS	
	REMOTE I/O		OUTROS:		OUTROS:		DADOS DE MANUTENÇÃO	X
	I/O LINK						OUTROS:	
	OUTROS:						TESTE DE QUALIDADE	X
							RESULTADO DO TESTE DE QUALIDADE	X
							CONTROLE DE PRODUÇÃO	X
6. Asset Layer	A. Infraestrutura	Estado atual	B. Tecnologia	Estado atual	C. Sistemas	Estado atual	D. Information	Estado atual
Equipamento	MOTORES	X	PARTIDAS DIRETAS		SISTEMAS DE ENERGIA		INFORMAÇÕES DE PROCESSO	X
Classe de Equipamento	SERVO		INTEGRAÇÃO EM REDE		HISTÓRICO DE DADOS		MEDICÃO DE GRANDEZAS	
Propriedade de classe de equipamento	VALVULAS	X	INSTALAÇÃO ELÉTRICA PADRÃO		MONITORAMENTO DE EVENTOS	X	DADOS DE PRODUÇÃO	X
Propriedade do equipamento	ACIONAMENTOS		TECNOLOGIA SEM FIO		SISTEMAS DE MANUTENÇÃO		AJUSTES DE MANUTENÇÃO	
Lote material	SENSORES	X	SISTEMA DE VISÃO					
Sublot material	ROBÔS	X	CNC/ROBÓTICA					
Classe material	MULTIMEDIDORES		MEDICÃO POR IMAGEM		OUTROS:		OUTROS:	
	LEITORES CÓDIGO DE BARRAS							
	OUTROS:							
	ATUADORES	X						
	CONTADORES	X						
	RESISTENCIAS	X	OUTROS:					
	TRANSPORTADORES	X						
	ESTUFA	X						
	LINHA DE SOLDAGEM	X						
	TESTE VÁCUO	X						
	CARROSSEL DE TESTES	X						
	EMBALAGEM	X						
	MATERIAL	X						
	PEÇAS	X						
	CAIXAS	X						
	MOTORES	X						

ANEXO C - TABELA RESULTADOS ARCHIMATE

	Elementos do Archimate	Definição das relações	Elemento Relacionado
CAMADA DE NEGÓCIOS			
Contabilidade de Custos	Business Function	Flow/Realization	Controle de produção, SAP R/3
Expedição	Business Function	Flow/Realization	Controle de Inventário, SAP R/3 MM
Processamento de pedidos	Business Function	Flow/Realization	Garantia de qualidade, SAP R/3
Compras	Business Function	Flow/Realization	Gestão da manutenção, SAP R/3 MM
Gerente de produção	Business actor	Assignment	Programação da produção
Designer de Produto	Business actor	Assignment	Contabilidade de Custos
Programação da Produção	Business Function	Flow	Controle de Inventário
Controle de Inventário	Business Function	Flow	Expedição
Produto acabado Refrigerador	Product	Assignment	Controle de Inventário
Definição de Produto	Business Object	Access	Programação da produção
Especificação de Material	Business Object	Access	Contabilidade de Custos
Registro de Pedidos	Business Object	Access	Processamento de pedidos
Relatório de Estoque	Business Object	Access	Controle de Inventário
Análise de processos	Business Object	Access	Programação da produção
CAMADA DE APLICAÇÃO			
RSLINX	Application component	serving	Rede Data Highway plus (DH+)
MS Windows 2000 (CMMS)	Application component	serving	Industrial Ethernet (IPV4)
RS View 32	Application component	serving	Industrial Ethernet (IPV4)
SAP R/3	Application component	Realization	Processamento de pedidos, Contabilidade
SAP R/3 MM	Application component	Realization	Programação da produção, Controle de inventário, Expedição de produtos, Compras
Garantia da qualidade	Application function	Flow	Processamento de Pedidos
Gestão da manutenção	Application function	Flow	Compras
Data base	Data Object	Association	SAP R/3
Dados do controle de qualidade	Data Object	Access	Garantia da qualidade
Dados de manutenção	Data Object	Access	Gestão da manutenção
Dados de Fluxo	Data Object	Access	Gestão da manutenção
Informações de processo	Data Object	Access	Garantia da qualidade
CAMADA TECNOLÓGICA			
Controle de produção	Technologic Function	Flow relation	Prog. Produção, Contr. De Produção, Gestão da manutenção e Controle de qualidade
IHM Allen Bradley PanelView	Device	Association	CLP Rockwell SLC 500
CLP Rockwell SLC 500	Device	Triggering	Rede Data Highway plus (DH+)
Industrial Ethernet (IPV4)	Communication network	Association,Serving	OPC Server , RS View 32
Rede Data Highway plus (DH+)	Communication network	Association	OPC Server
OPC Server	Communication network	Serving	SAP R/3, SAP R/3 MM
Supervisor SCADA	Device	Triggering	Industrial Ethernet (IPV4)
DCS AC800M	Device	Triggering	Industrial Ethernet (IPV4)
PC Industrial	Device	Triggering	Industrial Ethernet (IPV4)
Dados de produção	Technologic Event	Composition	Controle de produção
Relatórios de produção	Technologic Event	Composition	Controle de produção
Resultado do teste de qualidade	Technologic Event	Composition	Controle de produção
Teste de qualidade	Technologic Service	Composition	Controle de produção
CAMADA FÍSICA			
Motores	Equipment	Assignment	Transportadores, Estufa, Teste Vácuo, Carrossel de testes, Embalagem
Sensores	Equipment	Assignment	Transportadores, Estufa, Linha de soldagem, Teste Vácuo, Carrossel de testes
Atuadores	Equipment	Assignment	Transportadores
Controladores	Equipment	Assignment	Embalagem
Robôs	Equipment	Assignment	Linha de soldagem
Resistências	Equipment	Assignment	Estufa
Válvulas	Equipment	Assignment	Teste vácuo
Transportadores	Equipment	Serving	CLP Rockwell SLC 500
Estufa	Equipment	Serving	CLP Rockwell SLC 500
Linha de soldagem	Equipment	Serving	CLP Rockwell SLC 500
Teste Vácuo	Equipment	Serving	DCS AC800M
Carrossel de testes	Equipment	Serving	DCS AC800M
Embalagem	Equipment	Serving	PC Industrial
Material	Material	Association	Transportadores, Estufa, Linha de soldagem, Teste Vácuo, Carrossel de testes, Embalagem
Piças	Material	Composition	Material
Caixas	Material	Composition	Material
Motores	Material	Composition	Material