

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

RAFAEL MACHADO DE SALLES

Integração machine to machine no contexto da indústria 4.0

São Paulo

2022

RAFAEL MACHADO DE SALLES

Integração machine to machine no contexto da indústria 4.0

Versão Corrigida

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

Área de concentração: Engenharia de Controle de Automação

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Junqueira

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 19 de Julho de 2022

Assinatura do autor: Rafael M. de Salles

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Salles, Rafael Machado de
Integração machine to machine no contexto da indústria 4.0 / R. M. Salles
-- versão corr. -- São Paulo, 2022.
134 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1. Indústria 4.0 2. Internet das coisas 3. Arquitetura orientada a serviços
4. Machine to machine I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.

Agradecimentos

Aos familiares, especialmente meu pai, minha mãe, minha irmã, meu avô e ao meu cunhado, que me apoiaram nesse percurso com diversos obstáculos.

Ao meu orientador Prof. Fabrício Junqueira, ao meu coorientador Prof. Paulo Eigi Miyagi e ao Prof. Marcosiris Amorim de Oliveira Pessoa, que me auxiliaram para resolver os problemas encontrados no mestrado.

Aos amigos do departamento, que ajudaram na discussão dos temas e na criação de trabalhos em conjunto.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Resumo

SALLES, Rafael Machado de. **Integração machine to machine no conexto da indústria 4.0.** 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

É esperado que as mudanças nos meios de produção tragam uma melhor qualidade de vida para o ser humano. A primeira, segunda e terceira revoluções industriais modificaram a relação de trabalho, a expectativa de vida e a comunicação entre pessoas. Atualmente, uma nova revolução nos meios de produção evidenciada na inteligência artificial e na digitalização completa da manufatura está ocorrendo. Essa nova revolução tem como objetivo central personalizar o produto final a critério do cliente. Para chegar nesse nível de personalização, será necessário a comunicação entre máquinas, ou *Machine to Machine*, para a indústria ter autonomia para adicionar serviços, funcionalidades e fabricar os produtos sem uma interação humana direta. A Indústria 4.0 necessita incorporar as funcionalidades e características da interação *Machine to Machine* em uma arquitetura própria, como o RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model for Industrie 4.0*), que ainda é abstrato e não especifica como a interação entre máquinas é realizada. O funcionamento e as características dessa interação podem ser obtidas a partir de arquiteturas para *Machine to Machine* consolidadas na literatura, como a arquitetura da ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*). Extraindo características e funcionalidades da arquitetura consolidada na literatura para *Machine to Machine*, é possível mapear o que é necessário no contexto da Indústria 4.0 dentro do RAMI 4.0, e a partir disso, criar modelos que demonstrem como ocorre a interação *Machine to Machine* de acordo com os cenários importantes para a Indústria 4.0, que incluem a interação entre máquinas dentro de uma mesma empresa e entre empresas distintas, no modo que seja possível verificar e validar os modelos desenvolvidos.

Palavras-chaves: Indústria 4.0, *Internet of things*, Arquitetura orientada a serviços, *Machine to machine*.

Abstract

SALLES, Rafael Machado de. **Work title:** work subtitle. 2022. 133 p. Dissertation (Master of Science) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

It is expected that changes in the means of production will bring a better quality of life for human beings. The first, second and third industrial revolutions changed the working relationship, life expectancy and communication between people. Currently, a new revolution in the means of production evidenced in artificial intelligence and the complete digitization of manufacturing is taking place. This new revolution has as its central objective to customize the final product at the customer's discretion. To reach this level of customization, communication between machines, or Machine to Machine, will be necessary for the industry to have the autonomy to add services, functionality and manufacture products without direct human interaction. Industry 4.0 needs to incorporate the features and characteristics of Machine to Machine interaction in its own architecture, such as RAMI 4.0 (Reference Architectural Model for Industry 4.0), which is still abstract and does not specify how the interaction between machines is performed. The operation and characteristics of this interaction can be obtained from architectures for Machine to Machine consolidated in the literature, such as the ETSI (European Telecommunication Standard Institute) architecture. By extracting features and functionalities from the architecture consolidated in the literature for Machine to Machine, it is possible to map what is needed in the context of Industry 4.0 within RAMI 4.0, and from that, create models that demonstrate how the Machine to Machine interaction occurs according to the important scenarios for Industry 4.0, which include the interaction between machines within the same company and between different companies, so that it is possible to verify and validate the models developed.

Keywords: Industry 4.0, Internet of things, Service oriented architecture, Machine to machine.

Lista de figuras

Figura 1 – Mudanças de estrutura de produção entre as Revoluções Industriais	16
Figura 2 – Estrutura referência utilizada na indústria atualmente (ISA-95)	17
Figura 3 – Interconexão entre elementos esperada para Indústria 4.0	18
Figura 4 – Requisitos funcionais para a interação M2M	23
Figura 5 – Arquitetura M2M desenvolvida pela ETSI	26
Figura 6 – Interação entre as Capacidades dos Serviços da Rede	27
Figura 7 – Funções das Capacidades dos Serviços	30
Figura 8 – Topologias básicas da RSSF	33
Figura 9 – Relação entre M2M, IoT, CPS e RSSF	35
Figura 10 – Relação dos conceitos responsáveis pela interação M2M	36
Figura 11 – <i>Reference Architectural Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0)</i>	38
Figura 12 – Estrutura Geral do <i>Asset Administration Shell</i>	40
Figura 13 – Relação entre ativos de diferentes <i>Asset Administration Shells</i>	42
Figura 14 – Repositório na Indústria 4.0	43
Figura 15 – Graus de compatibilidade entre Componentes I4.0	45
Figura 16 – Interação entre <i>Asset Administration Shells</i> baseados em Web Services . . .	47
Figura 17 – Descoberta de Componentes I4.0 e armazenamento de informações no <i>Componente Broker</i>	48
Figura 18 – Comunicação entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma empresa . . .	49
Figura 19 – Comunicação entre Componentes I4.0 de empresas distintas	51
Figura 20 – Interação completa entre Componentes I4.0 de empresas distintas	52
Figura 21 – Elementos do PFS	53
Figura 22 – Fluxos para PFS	53
Figura 23 – Estrutura dos fluxos de itens em modelos PFS	54
Figura 24 – Elementos da Rede de Petri	55
Figura 25 – Funções das “Capacidades dos Serviços” M2M-ETSI mapeadas no eixo Camadas do RAMI 4.0	60
Figura 26 – Interação <i>Machine to Machine</i> dentro de uma mesma empresa (parte 1/3) . .	65
Figura 27 – Interação <i>Machine to Machine</i> dentro de uma mesma empresa (parte 2/3) . .	66
Figura 28 – Interação <i>Machine to Machine</i> dentro de uma mesma empresa (parte 3/3) . .	67

Figura 29 – Interação <i>Machine to Machine</i> entre Empresas (parte 1/3)	69
Figura 30 – Interação <i>Machine to Machine</i> entre Empresas (parte 2/3)	70
Figura 31 – Interação <i>Machine to Machine</i> entre Empresas (parte 3/3)	71
Figura 32 – Encontrar Componentes I4.0 para atender a demanda	74
Figura 33 – Buscar informações dos Componentes I4.0 aptos	75
Figura 34 – Determinar o melhor Componente I4.0 e interagir com ele	77
Figura 35 – Procurar Componentes I4.0 aptos para uma demanda fora da Empresa . . .	79
Figura 36 – Definir a Empresa apta para o serviço e buscar informações dos Componentes I4.0 aptos	80
Figura 37 – Determinar o melhor Componente I4.0 e interagir com ele somente pelo nível Funcional	82
Figura 38 – Rede de Petri da interação <i>Machine to Machine</i> dentro da mesma empresa .	85
Figura 39 – Modelo no nível de “Ativos” do Componente 1 na interação M2M dentro da mesma Empresa	87
Figura 40 – Modelo no nível de “Integração” do Componente 1 na interação M2M dentro da mesma Empresa	87
Figura 41 – Modelo no nível de “Comunicação” do Componente 1 na interação M2M dentro da mesma Empresa	88
Figura 42 – Modelo no nível de “Informação” do Componente 1 na interação M2M dentro da mesma Empresa	90
Figura 43 – Modelo no nível “Funcional” do Componente 1 na interação M2M dentro da mesma Empresa	91
Figura 44 – Artíficos para interação entre Componentes I4.0 dentro da mesma empresa	92
Figura 45 – Modelo no nível “Funcional” do Componente Broker na interação M2M dentro da mesma Empresa	94
Figura 46 – Modelo no nível de “Informação” do Componente Broker na interação M2M dentro da mesma Empresa	95
Figura 47 – Modelo no nível “Funcional” dos Componentes 2 e 3 na interação M2M dentro da mesma Empresa	97
Figura 48 – Modelo no nível de “Informação” dos Componentes 2 e 3 na interação M2M dentro da mesma Empresa	98
Figura 49 – Modelo no nível de “Comunicação” dos Componentes 1 e 3 na interação M2M dentro da mesma Empresa	103

Figura 50 – Modelo no nível de “Integração” dos Componentes 1 e 3 na interação M2M dentro da mesma Empresa	103
Figura 51 – Modelo no nível de “Ativos” dos Componentes 1 e 3 na interação M2M dentro da mesma Empresa	104
Figura 52 – Rede de Petri da interação <i>Machine to Machine</i> entre empresas	105
Figura 53 – Modelo no nível “Funcional” do Componente 1 na interação M2M entre Empresas	107
Figura 54 – Artíficos para interação entre Componentes I4.0 entre Empresas no nível de “Regra de Negócio” do Componente Broker Empresa 2 e Componente Broker Empresa 3	108
Figura 55 – Modelo no nível “Funcional” do Componente Broker de Negociação entre Empresas na interação M2M entre Empresas	110
Figura 56 – Modelo no nível de “Informação” do Componente Broker de Negociação entre Empresas na interação M2M entre Empresas	110
Figura 57 – Modelo no nível “Funcional” do Componentes Broker Empresa 2 e Broker Empresa 3 na interação M2M entre Empresas	112
Figura 58 – Modelo no nível de “Informação” dos Componentes Broker Empresa 2 e Broker Empresa 3 na interação M2M entre Empresas	112
Figura 59 – Modelo no nível de “Informação” do Componente Broker Empresa 1 na interação M2M entre Empresas	115
Figura 60 – Modelo no nível “Funcional” do Componente 1 Empresa 1 na interação M2M entre Empresas	116
Figura 61 – Modelo no nível de “Informação” do Componente 1 Empresa 1 na interação M2M entre Empresas	116
Figura 62 – Modelo no nível “Funcional” do Componente 2 Empresa 3 e do Componente 3 Empresa 3 na interação M2M entre Empresas	118
Figura 63 – Modelo no nível de “Informação” do Componente 2 Empresa 3 e do Componente 3 Empresa 3 na interação M2M entre Empresas	119
Figura 64 – Artíficos utilizados para a interação dos Componentes 2 e 3 da Empresa 3 e o Componente 1 Empresa 1	120
Figura 65 – Modelo no nível de “Comunicação” do Componente 1 Empresa 1 e do Componente 3 Empresa 3 na interação M2M entre Empresas	124

Figura 66 – Modelo no nível de “Integração” do Componente 1 Empresa 1 e do Componente 3 Empresa 3 na interação M2M entre Empresas	124
Figura 67 – Modelo no nível de “Ativo” do Componente 1 Empresa 1 e do Componente 3 Empresa 3 na interação M2M entre Empresas	125

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparação entre os elementos das arquiteturas M2M	24
Tabela 2 – Comparação entre IoT e IIoT	31
Tabela 3 – Comparação entre M2M-ETSI e RAMI 4.0	57
Tabela 4 – Interações entre o Componente 1 e outros Componentes I4.0 na [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados]	89
Tabela 5 – Eventos ativados com as transições	89
Tabela 6 – Relação dos artifícios com as interações	93
Tabela 7 – Comportamento interno na [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] do Componente 3	98
Tabela 8 – Habilitação de transições na [Seleção da Comunicação]	102
Tabela 9 – Artifícios usados para habilitar interações	109
Tabela 10 – Eventos após as transições serem ativadas no nível de “Informação” na Interação M2M entre empresas	111
Tabela 11 – Comportamento interno na [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] do Componente 1 Empresa 1	117
Tabela 12 – Comportamento interno no [Gerenciamento de Transações] do Componente 1 Empresa 1	117
Tabela 13 – Comportamento interno na [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] do Componente 3 Empresa 3	119

Lista de Siglas e Abreviaturas

- AAx** Ativação da Aplicação (Dispositivo, *Gateway* ou Rede)
- AERx** Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório (Dispositivo, *Gateway* ou Rede)
- BTCx** *Broker* de Compensação (Dispositivo, *Gateway* ou Rede)
- CCS** Comunicação entre Capacidades dos Serviços
- CDTR** Controle Distribuído em Tempo Real
- CF2F** Comunicação Fim a Fim
- CGx** Comunicação Genérica (Dispositivo, *Gateway* ou Rede)
- CLP** Controlador Lógico Programável
- CPS** *Cyber Physical System*
- CSs** Capacidades do Serviços
- GTX** Exposição do Operador de Telecomunicações (Rede)
- ETSI** *European Telecommunication Standart Institute*
- GREx** Gerenciamento Remoto da Entidade (Dispositivo, *Gateway* ou Rede)
- GTX** Gerenciamento de Transações (Dispositivo, *Gateway* ou Rede)
- IEEE** *Institute of Electrical and Electronics Engineers*
- IoT** *Internet of Things*
- IIoT** *Industrial Internet of Things*
- ISA** *International Society of Automation*
- M2M** *Machine to Machine*
- M2M-D** *Machine to Machine* - Dispositivo
- M2M-DE** *Machine to Machine* Dentro da Empresa
- M2M-EE** *Machine to Machine* Entre Empresas distintas

M2M-S *Machine to Machine - Servidor*

M2M-U *Machine to Machine - Usuário*

MTC *Machine Type Communications*

MTC-A *Machine Type Communications - Aplicação*

MTC-D *Machine Type Communications - Dispositivo*

MTC-IWC *Machine Type Communications - Interworking function*

MTC-S *Machine Type Communications - Servidor*

OPC-UA *OPC Unified Architecture*

PFS *Production Flow Schema*

PII *Processamento de Informações Inteligentes*

PTX *Proxy de Trabalho (Rede)*

RAMI 4.0 *Reference Architectural Model for Industry 4.0*

RDHX *Retenção de Dados e Histórico (Dispositivo, Gateway ou Rede)*

RdP *Rede de Petri*

RFID *Radio Frequency IDentification*

RSSF *Rede de Sensores sem Fio*

SAV *Serviços que Adicionam Valor*

SCX *Seleção da Comunicação (Dispositivo, Gateway ou Rede)*

SEDs *Sistemas a Eventos Discretos*

SX *Segurança (Dispositivo, Gateway ou Rede)*

SCADA *Supervisory Control And Data Acquisition*

SOA *Service Oriented Architecture*

WS *Web Service*

Sumário

1	Introdução	15
1.1	<i>Objetivo</i>	19
1.2	<i>Estrutura do presente texto</i>	19
2	Fundamentos	21
2.1	<i>Machine to Machine (M2M)</i>	21
2.1.1	Arquiteturas M2M	22
2.1.2	Arquitetura M2M-ETSI	24
2.2	<i>Internet of Things (IoT)</i>	29
2.2.1	Rede de Sensores sem Fio (RSSF)	32
2.3	<i>Cyber Physical System (CPS)</i>	33
2.4	<i>M2M-IoT-RSSF-CPS</i>	34
2.5	<i>Reference Architectural Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0)</i>	36
2.5.1	Componentes I4.0	39
2.5.2	Repositório	41
2.6	<i>Comunicação entre Componentes I4.0</i>	43
2.6.1	SOA (<i>Service Oriented Architecture</i>)	46
2.7	<i>Descoberta de Componentes I4.0</i>	47
2.8	<i>Comunicação entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma empresa</i>	48
2.9	<i>Comunicação entre Componentes I4.0 de empresas distintas</i>	50
2.10	<i>Modelagem e Análise de Sistemas</i>	52
2.10.1	<i>Production Flow Schema (PFS)</i>	52
2.10.2	Rede de Petri (RdP)	54
2.10.3	Verificação e validação de processos/sistemas	55
2.11	<i>Síntese do Capítulo</i>	56
3	Proposta de mapeamento entre RAMI 4.0 e a arquitetura para interação M2M (ETSI)	57
3.1	<i>Capacidade dos Serviços e Asset Administration Shell</i>	58
3.2	<i>Funções da Capacidade do Serviços no RAMI 4.0</i>	59
3.2.1	Ativos	59

3.2.2	Integração	59
3.2.3	Comunicação	61
3.2.4	Informação	61
3.2.5	Funcional	62
3.3	<i>Interação M2M-ETSI no RAMI 4.0</i>	62
3.3.1	Interação M2M dentro de uma mesma empresa	63
3.3.2	Interação M2M entre Empresas	65
4	Modelagem no nível conceitual da interação Machine to Machine com base na estrutura proposta	72
4.1	<i>Modelagem da Interação M2M dentro de uma Empresa</i>	73
4.1.1	Encontrar Componentes I4.0 para atender a demanda	73
4.1.2	Buscar informações dos Componentes I4.0 aptos	74
4.1.3	Determinar o melhor Componente I4.0 e interagir com ele	76
4.2	<i>Modelagem da Interação M2M entre Empresas</i>	76
4.2.1	Procurar Componentes I4.0 aptos para uma demanda fora da Empresa	77
4.2.2	Definir a Empresa apta para o serviço e buscar informações dos Componentes I4.0 aptos	78
4.2.3	Determinar o melhor Componente I4.0 e interagir com ele somente pelo nível Funcional	78
4.3	<i>Discussão dos Resultados no PFS</i>	81
5	Modelo Funcional e Análise da Interação M2M	83
5.1	<i>Modelagem funcional da interação Machine to Machine dentro de uma mesma Empresa</i>	84
5.1.1	Análise da interação Machine to Machine dentro de uma empresa	86
5.2	<i>Modelagem funcional da interação Machine to Machine entre Empresas</i>	104
5.2.1	Análise da interação Machine to Machine entre empresas	105
5.3	<i>Discussão sobre os resultados obtidos</i>	126
6	Conclusões	128
6.1	<i>Trabalhos Futuros</i>	128
	Referências	130

1 Introdução

Durante séculos as mudanças dos meios de produção trouxeram maior qualidade de vida para a população. A primeira revolução industrial se deu nas indústrias têxteis e principalmente no uso da máquina a vapor. Posteriormente, a segunda revolução industrial foi concentrada no uso da energia elétrica. No final do século XX, a terceira revolução industrial automatizou os processos de manufatura e definiu a criação e o desenvolvimento dos computadores (SCHUH et al., 2014).

Atualmente os meios de produção estão sendo modificados, com estudos sendo desenvolvidos para extração de informações de máquinas, dispositivos e produtos. Essa mudança de paradigma tem como objetivo central personalizar e adequar o produto final a critério do cliente. Nessa ideia, conceitos baseados principalmente na digitalização da produção, na interação entre ativos e no processamento de uma grande quantidade de dados, fornecem algumas das necessidades da quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0 (PISCHING et al., 2018a). Uma representação da mudança de padrão industrial pode ser evidenciada na Figura 1, onde novos conceitos são necessários para seu desenvolvimento, entre eles os CPSs (*Cyber Physical Systems*) e a IoT (*Internet of Things*), que serão explicados no decorrer desse texto.

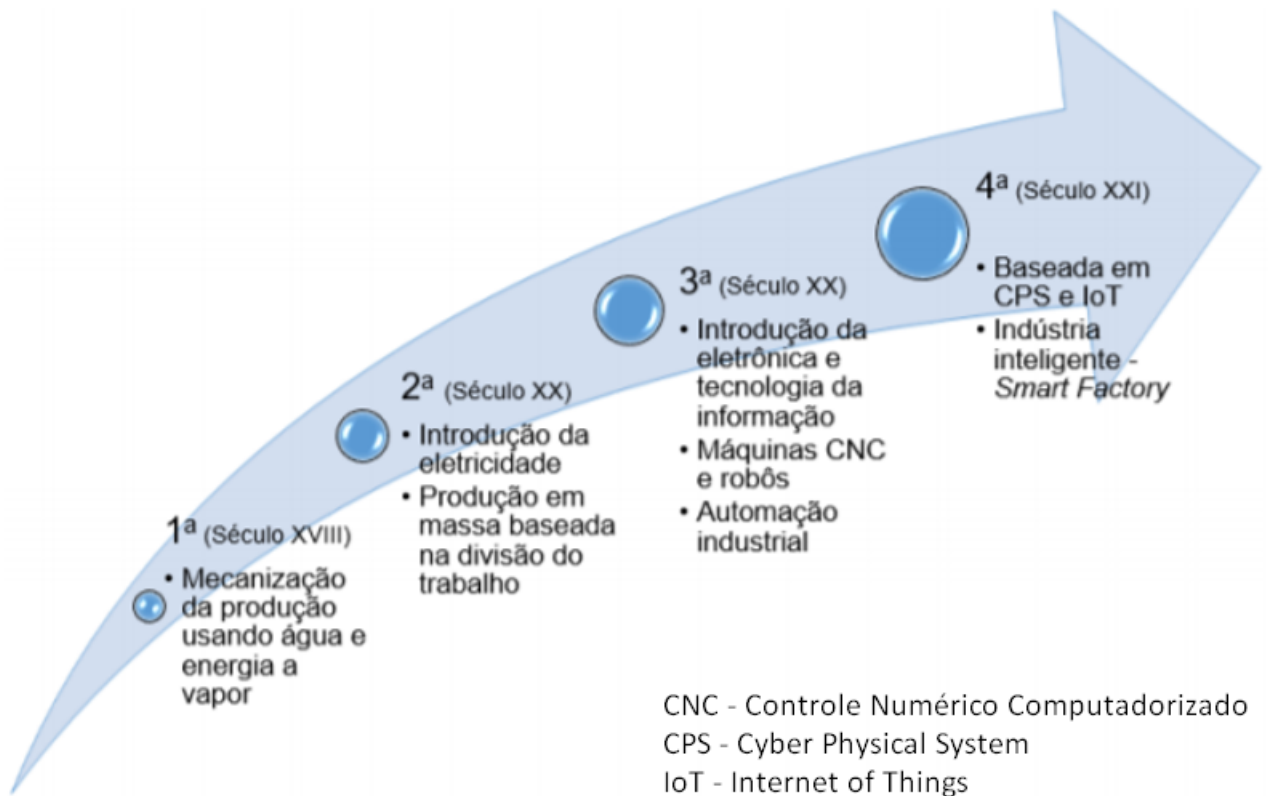
O termo Indústria 4.0 foi primeiramente usado na feira de Hannover em 2011, considerada uma das maiores feiras industriais tecnológicas do mundo, e lançado oficialmente pelo governo alemão em 2012 na Alemanha (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Surgiu como uma iniciativa em investir em alta tecnologia, com o objetivo de aumentar a automatização dos sistemas produtivos (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

A Indústria 4.0 necessita que identificadores sejam acoplados em todos os seus elementos ou recursos físicos, como máquinas, ferramentas e produtos, para que assim seja possível extrair as informações de todo processo produtivo. Esses identificadores podem ser baseados em tecnologias como RFID (*Radio Frequency IDentificator*), que têm como objetivo rastrear e identificar todos esses equipamentos por meio de frequências de rádio (PISCHING, 2017).

Para a consolidação da Indústria 4.0, Hermann, Pentek e Otto (2016) definiram seis princípios para o aperfeiçoamento dos diversos componentes físicos e sistemas de comunicação:

- Interoperabilidade entre máquinas, dispositivos e sistemas em geral - Tornar possível que dispositivos, máquinas e sistemas distintos consigam se comunicar;

Figura 1 – Mudanças de estrutura de produção entre as Revoluções Industriais



Fonte: Pisching (2017)

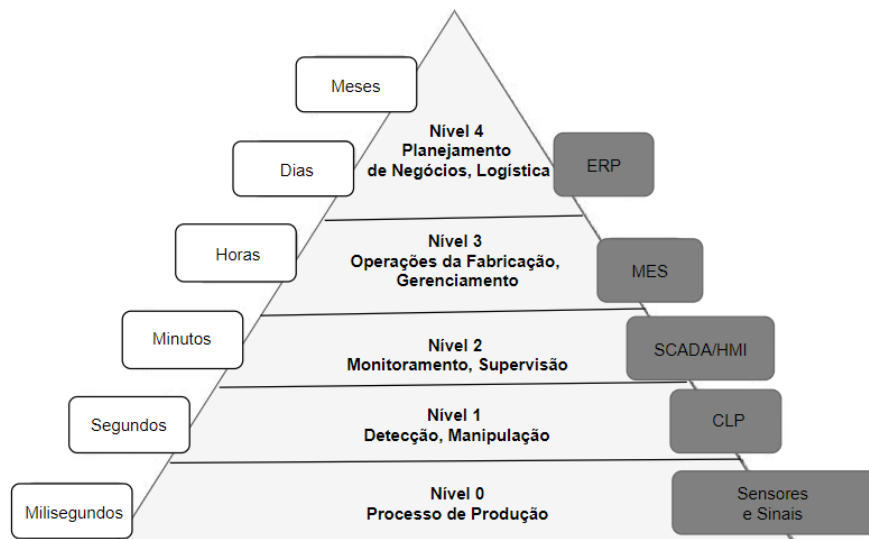
- Virtualização dos processos - Necessidade de criar modelos virtuais a partir de ativos físicos e assim auxiliar na tomada de decisões e interação entre todos os ativos;
- Descentralização da produção - Permitir que um ativo consiga se comunicar diretamente com outro ativo na cadeia produtiva independente do seu nível hierárquico;
- Coleta e análise de dados em tempo real - Necessidade para a tomada de decisões após análise de dados;
- Orientação a serviços - Possibilitar a existência de serviços digitais reutilizáveis e interligar todos sob demanda;
- Modularidade - Centralizar a produção na personalização do produto final.

Um dos problemas em relação às atuais estruturas consolidadas para indústria é que elas são baseadas em modelos centralizados e não conseguem atender às demandas da Indústria 4.0, além de não preverem a virtualização dos processos, como ponto relevante.

As Figuras 2 e 3 ilustram a ISA-95, que é a estrutura de controle e supervisão usada atualmente, e a interconexão entre elementos esperada para a quarta revolução, respectivamente. A principal diferença observada é que os sistemas, na Indústria 4.0, não se relacionam de maneira

hierárquica, dessa forma os sensores e sinais no nível 0, o CLP (*Controlador Lógico Programável*) no nível 1, o sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) no nível 2, o MES (*Manufacturing Execution Systems*) no nível 3 e o ERP (*Enterprise Resource Planning*) no nível 4 devem ser transformados em estruturas que não possuem uma hierarquia e têm seus próprios sistemas de controle, monitoramento, gerenciamento e planejamento, dessa forma conseguindo interagir com outros sistemas ou ativos. Nessa situação, a ISA-95 (PISCHING, 2017) (Figura 2) necessita ser modificada para uma estrutura de sistemas de formato descentralizado, como na Figura 3 (SCHMITTNER et al., 2017).

Figura 2 – Estrutura referência utilizada na indústria atualmente (ISA-95)



Fonte: Adaptado de Åkerman (2018)

Para os princípios que Hermann, Pentek e Otto (2016) descreveram, vêm surgindo desde 2013 arquiteturas capazes de atender as características da Indústria 4.0. Basicamente as arquiteturas são necessárias para descrever as relações, princípios e orientações que servem para desenvolver o projeto, a implementação e a evolução dos processos ao longo do tempo (PISCHING et al., 2018a).

Uma dessas arquiteturas é o IoT-ARM (*Internet of Things - Architectural Reference Model*), que tem como meta descrever as funcionalidades dos elementos em diversas aplicações, tendo como base arquiteturas voltadas para *Internet of Things*, incluindo sistemas de manufatura (BASSI et al., 2013).

IIRA (*Industrial Internet Reference Architecture*) é outra arquitetura que define projetos comuns relacionados com IIoT (*Industrial Internet of Things*) (LIN et al., 2015).

Figura 3 – Interconexão entre elementos esperada para Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Schmittner et al. (2017)

RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model for Industrie 4.0*) é composto por três eixos que descrevem os sistemas físicos e virtuais, com suas diversas funcionalidades, as definições de cada ativo e o ciclo de vida dos componentes da Indústria 4.0 (ADOLPHS et al., 2015).

Por se tratar de uma arquitetura desenvolvida para Indústria 4.0 e incluir os pontos fundamentais para sua implementação, o RAMI 4.0 vem sendo usada como referência por governos europeus. Entretanto é ainda abstrato quando se trata de como tecnologias e conceitos já existentes são adicionadas em suas estruturas, nesse ponto se enquadra a interação *Machine to Machine*, ou M2M.

Em Salles et al. (2018), os requisitos para a interação *Machine to Machine* no contexto da Indústria 4.0 são identificados. Nele são incluídos os CPSs e IoT como conceitos essenciais para adicionar funcionalidades e possibilitar a interação com as tecnologias mais atuais.

Com a interação *Machine to Machine* os seis princípios definidos por Hermann, Pentek e Otto (2016) podem ser alcançados.

As interações *Machine to Machine* necessitariam ter: (1) Interoperabilidade, para as máquinas conseguirem interagir entre si; (2) A virtualização dos processos da indústria com os CPSs (GARROCHO et al., 2020), aumentando as funcionalidades da interação; (3) Organização da produção em serviços de solicitação e resposta (HEER et al., 2017), para possibilitar que uma máquina consiga enviar um serviço para outra máquina; (4) Da coleta e análise dados em tempo real; e (5) Descentralizar a produção por meio de tecnologias da comunicação atuais, como a IoT. Sendo os itens anteriores necessários para alcançar a (6) modularidade.

Os trabalhos existentes sobre a Indústria 4.0 definem conceitos e poucas formas de como implementá-los, além disso, não mostram como a interação M2M pode ser realizada.

Obedecendo os critérios estabelecidos por Hermann, Pentek e Otto (2016), acrescentando as arquiteturas consolidadas para *Machine to Machine*, e usando como base o RAMI 4.0, é possível estabelecer a integração *Machine to Machine* no contexto da Indústria 4.0.

1.1 Objetivo

O objetivo desta dissertação é estabelecer as relações, funcionalidades e elementos relevantes para implementar a interação *Machine to Machine* no contexto da Indústria 4.0. Para isso:

(1) Compreender como se realiza, de fato, a interação *Machine to Machine*, isto é, identificar as principais arquiteturas já existentes e que têm sido adotadas para implantação do *Machine to Machine*;

(2) Estudar a relação entre as funcionalidades de uma arquitetura já existente e comprovada para *Machine to Machine* e uma arquitetura de sistemas para Indústria 4.0, como o RAMI 4.0;

(3) Desenvolver um procedimento para implantação da interação *Machine to Machine* com base nas funcionalidades necessárias para este tipo de comunicação, mas dentro de uma estrutura como o RAMI 4.0;

(4) Desenvolver os modelos dos processos de interação resultantes da aplicação do procedimento desenvolvido para verificação e validação dos resultados.

1.2 Estrutura do presente texto

No capítulo 2 estão os conceitos essenciais para interação *Machine to Machine*. Nesse quesito se destacam as bases bibliográficas existentes sobre essa comunicação, a *Internet of Things*, a Rede de Sensores Sem Fio e os *Cyber Physical Systems*. Além disso, o RAMI 4.0 é explicado detalhadamente, definindo os princípios de comunicação existentes e as partes físicas dos ativos e as partes digitais associadas a ele. Por fim, uma explicação das técnicas de modelagem e simulação de sistemas utilizados para esse projeto.

O capítulo 3 é apresentado uma proposta de como é a relação entre o RAMI 4.0 e a arquitetura de referência para *Machine to Machine*, explicitando cada função presente nos níveis do RAMI 4.0, desde a relação dos dispositivos físicos, até como os dados extraídos desses dispositivos são tratados nas camadas superiores. Nesse capítulo ainda são definidos as estruturas que representam a interação *Machine to Machine* dentro de uma mesma empresa e entre empresas diferentes.

No capítulo 4 estão os modelos desenvolvidos para representar a interação *Machine to Machine* no contexto da Indústria 4.0, demonstrando como a interação é realizada dentro de uma mesma empresa e entre empresas distintas.

No capítulo 5 estão os modelos de simulação dos diferentes cenários desenvolvidos no capítulo 4 de forma a compreender principalmente os fenômenos dinâmicos que regem o sistema.

Por fim o capítulo de conclusões, detalhando a contribuição e os aspectos que podem ainda ser aperfeiçoados.

2 Fundamentos

Para entender como acontece a integração *Machine to Machine* dentro da Indústria 4.0, primeiro é necessário compreender o que de fato é *Machine to Machine* e quais arquiteturas de referência são utilizadas. O segundo ponto é definir quais outros conceitos a interação *Machine to Machine* necessita utilizar para funcionar de forma eficiente. Esses conceitos são baseados na *Internet of Things* e Rede de Sensores sem Fio e nos *Cyber Physical Systems*.

Com os requisitos e conceitos apropriados para a interação *Machine to Machine* devidamente explicitados, a seção 2.5 define os eixos do RAMI 4.0 e quais características permitem que a arquitetura de *Machine to Machine* consiga ser integrada na arquitetura usada para Indústria 4.0.

No contexto da Indústria 4.0, destacam-se algumas características da interação entre duas máquinas em dois cenários. O primeiro dentro de uma mesma empresa e o segundo entre empresas distintas. Esses dois cenários apresentam diferentes abordagens, sendo a interação *Machine to Machine* entre empresas necessário para descrever como as empresas devem compartilhar serviços na Indústria 4.0.

A última parte desse capítulo apresenta uma explicação das técnicas de *Production Flow Schema* (PFS), para modelagem de sistemas, e rede de Petri, para simulação e validação dos sistemas modelados, que são usados no capítulo de resultados para descrever as funcionalidades e características da interação *Machine to Machine* no contexto da Indústria 4.0.

2.1 *Machine to Machine* (M2M)

M2M pode ser definido como um conjunto de tecnologias que se comunicam e permitem a ação de um dispositivo por meio de um comando de outro dispositivo (PALATTELLA et al., 2013).

Ela tem origem no *Supervision Control And Data Acquisition* (SCADA) em meados dos anos 80. Com o tempo, novas tecnologias surgiram e aprimoraram esse tipo de comunicação, evoluindo para interações sem fio e ampliando suas aplicações em diversas áreas (GLITHO, 2011).

A interação M2M está presente em processos produtivos, cidades inteligentes, residências inteligentes, auxiliando a medicina ou qualquer outra aplicação (PALATTELLA et al., 2013).

Nos últimos anos, a tecnologia de interação M2M mais utilizada é composta de sensores e atuadores e uma conexão de dados (TUNA et al., 2017).

2.1.1 Arquiteturas M2M

Para descrever como a interação M2M deve funcionar, Elloumi e Forlivesi (2012), definiram uma série de requisitos funcionais que devem ser atribuídos aos componentes básicos para a interação M2M. Todas as arquiteturas M2M devem apresentar esses requisitos e são agrupados da seguinte forma:

Funções de mediação de dados – Responsável pela coleta, armazenamento, agregação e análise de dados para posterior utilização na interação M2M.

Comunicações – Definem os caminhos específicos para envio dos dados, assim como protocolos de aplicações. Além disso, são responsáveis por nomear o endereço de rede de comunicação, estabilização de sinais e tradução de protocolos.

Gerenciamento de Funções – Providencia aplicações com definição de configurações, busca por falhas e gerenciamento de desempenho, como também perfis de segurança e *update* nos *softwares* de aplicação.

Contexto – Providencia e habilita o acesso das funções para localização, acionamento de dispositivos e segurança.

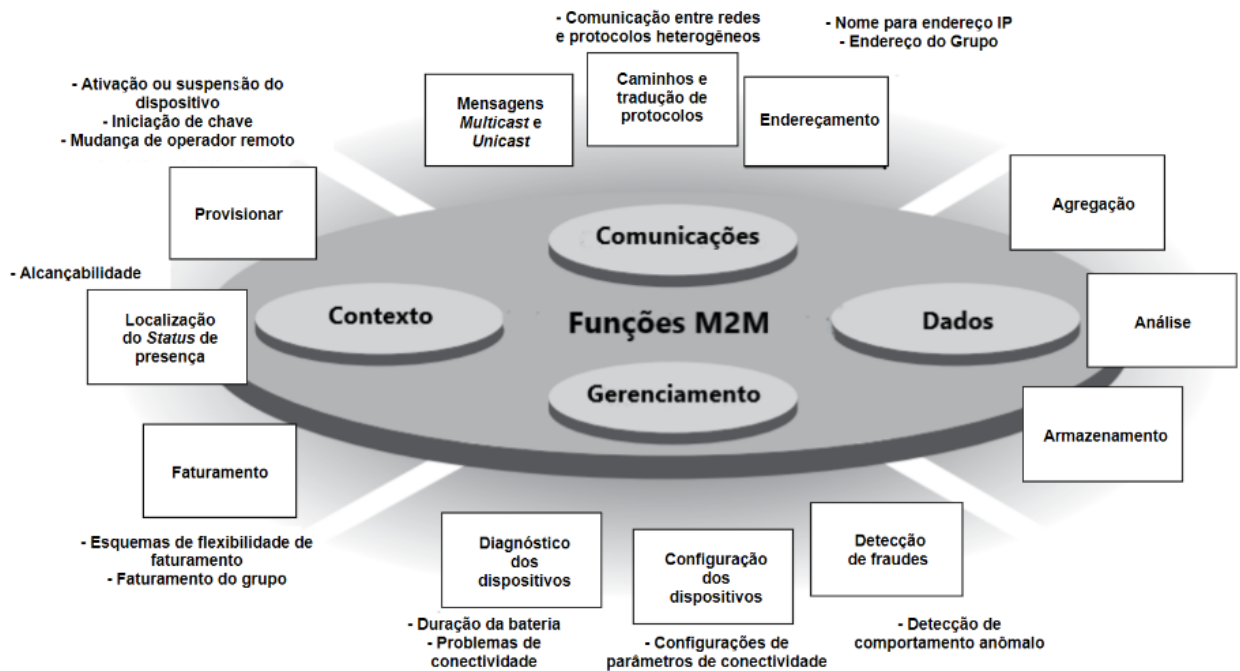
A Figura 4 ilustra os requisitos funcionais para interação M2M que os componentes básicos M2M devem ter.

As principais arquiteturas utilizadas na interação M2M são baseadas na relação entre domínios, que são usados para dividir as etapas da interação. Em Lo, Law e Jacobsson (2013), três arquiteturas M2M são mostradas e explicam como é o funcionamento de cada domínio e os pontos positivos de cada uma, estas são explicadas a seguir:

(1) A arquitetura desenvolvida pelo 3GPP refere-se à interação M2M como *Machine Type Communications* (MTC), tem a função de encaminhar ou converter mensagens de protocolos de sinalização dos servidores para a rede 3GPP, e/ou vice-versa. Está organizada em três domínios: 1) Dispositivos; 2) Rede 3GPP; e 3) Aplicações (LO; LAW; JACOBSSON, 2013);

(2) A arquitetura desenvolvida pelo IEEE 802.16p habilita dois tipos de interação M2M identificados como “ponto a ponto”, interação entre dois dispositivos, e “ponto para multi ponto”,

Figura 4 – Requisitos funcionais para a interação M2M



Fonte: Adaptado de Elloumi e Forlivesi (2012)

baseados em grupos de dispositivos. Possui o 1) domínio dos dispositivos; 2) domínio de rede IEEE 802.16p; e 3) domínio de aplicações (LO; LAW; JACOBSSON, 2013);

(3) A *European Telecommunication Standard Institute* (ETSI) é uma arquitetura orientada a serviços sem a definição padrão de tecnologias sem fio. Tem como foco a alocação das “Capacidades dos Serviços”, que são uma série de funções usadas para gerar as “aplicações M2M”. As “aplicações M2M” executam uma lógica de serviços de aplicativos, baseados nas informações presentes nas “Capacidades dos Serviços” e referentes às necessidades de determinada aplicação que utilize a interação M2M (LO; LAW; JACOBSSON, 2013).

Tanto no 3GPP quanto no IEEE 802.16p, o objetivo é descrever as características e funcionalidades da rede de acesso celular e interações M2M sem fio (LO; LAW; JACOBSSON, 2013). Em ambas, o domínio dos dispositivos representa os recursos físicos responsáveis pela comunicação; o domínio de Rede (domínio que nas duas arquiteturas apresentam maior foco), define os caminhos na rede de comunicação para que as informações dos dispositivos consigam chegar ao domínio de aplicação; e por último o domínio de aplicação determina quais e como as aplicações são direcionadas para os dispositivos que possuem tecnologia M2M (LO; LAW; JACOBSSON, 2013).

A Tabela 1 ilustra uma comparação entre os elementos presentes nas arquiteturas M2M do ETSI, 3GPP e IEEE 802.16p.

Tabela 1 – Comparação entre os elementos das arquiteturas M2M

Descrição	Arquiteturas M2M		
	IEEE 802.16p	3GPP	ETSI
Máquinas capazes de transmitir dados de forma autônoma para outra máquina	M2M-D	MTC-D	Dispositivo M2M
Padronização dos dados locais	Não especificado	Não especificado	Gateway
Rede Capilar que transmite conectividade de curto alcance (exemplo <i>zigbee</i>)	Não especificado	Não especificado	Rede local
Aplicações que fornecem uma lógica de serviços	M2M-U	MTC-A	Aplicações M2M
Camada de serviços que fornecem funções comuns e informações para utilização das aplicações M2M	Não especificado	Não especificado	Capacidade dos Serviços
Entidade que se comunica com outro dispositivo e se conecta com a Rede IEEE 802.16	M2M-S	-	-
Servidor MTC, entidade que se comunica com outros MTCs-D e conecta com a Rede 3GPP	-	MTC-S	-
São as funções necessárias para gerenciar a Capacidade dos Serviços encontrada na Rede	-	-	Funções de Gerenciamento
Entidade lógica que converte mensagens de protocolo do Servidor MTC para a Rede 3GPP, e vice-versa	-	MTC-IWF	-

Fonte: Adaptado de Lo, Law e Jacobsson (2013)

Enquanto as arquiteturas desenvolvidas pela 3GPP e IEEE 802.16p se dedicam a descrever mais detalhadamente o funcionamento da comunicação sem fio, a ETSI é uma arquitetura voltada a serviços e descrevem melhor as funcionalidades e aplicações de cada dispositivo, por meio das denominadas “Capacidades dos Serviços” (LO; LAW; JACOBSSON, 2013).

Pela Indústria 4.0 necessitar da orientação a serviços e pela explicação detalhada das funcionalidades que a interação M2M deve possuir, a arquitetura desenvolvida pela ETSI é adotada como referência para o decorrer do projeto.

2.1.2 Arquitetura M2M-ETSI

A arquitetura desenvolvida pela ETSI está ilustrada na Figura 5 e consiste de dois domínios (LO; LAW; JACOBSSON, 2013) (ELLOUMI; FORLIVESI, 2012):

Domínio dos dispositivos – Envolve a localização dos componentes físicos, em que fazem parte os sensores, atuadores, controladores e máquinas. Consegue englobar uma rede de comunicação local M2M que possua um *Gateway*, capaz de integrar as máquinas locais que não são “dispositivos M2M”. O *Gateway* representa a padronização de diversos “dispositivos M2M”. Ele atua como uma entrada para uma nova rede de comunicação, integrando diversos sensores/máquinas (CHEN; WAN; LI, 2012).

Domínio de rede e aplicações – Envolve a comunicação entre os dispositivos M2M e o “Núcleo de rede principal”, necessário para acesso à “Capacidade dos Serviços da rede”, que possuem as funções necessárias para interação na rede de comunicação, e conseqüentemente às “aplicações M2M da Rede”.

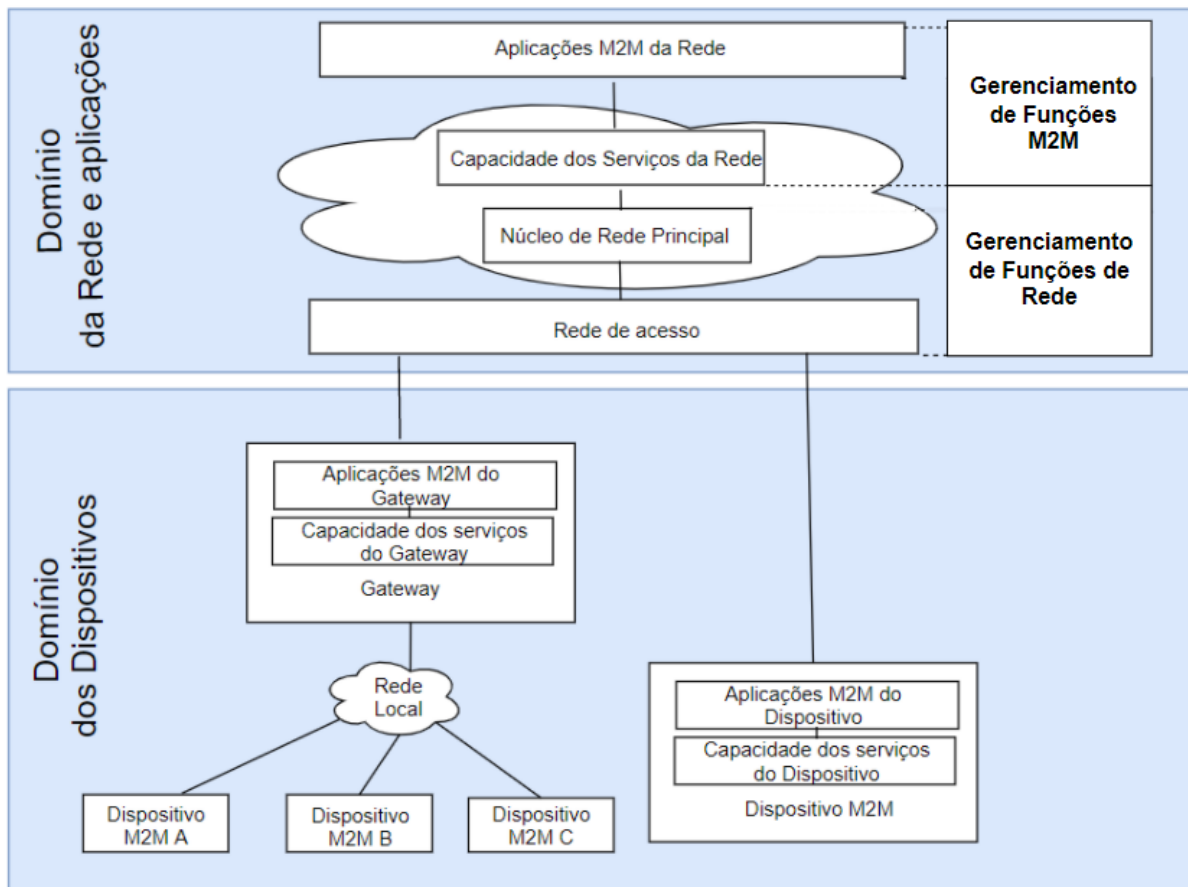
Nas “aplicações M2M da Rede”, é definida a aplicação adequada para a utilização de um cliente final. Com isso, a informação retorna para a “Capacidade dos Serviços da Rede”, onde funções são utilizadas, depois para o “Núcleo de Rede principal”, onde os protocolos são padronizados, e por último para o “domínio dos dispositivos”, aonde os dados são direcionados para a máquina selecionada.

Capacidade dos Serviços

As “Capacidades dos Serviços” contemplam uma série de funções que possibilitam que: (1) um “dispositivo M2M” consiga interagir com outro dispositivo utilizando seus próprios recursos; e (2) que essas funções consigam ser fornecidas aos “dispositivos M2M” por uma rede de comunicação ou por um *Gateway*, e assim fazer com que esses “dispositivos M2M” consigam interagir um com outro. Ou seja, a “Capacidade dos Serviços” possibilita que um dispositivo possua a capacidade de se comunicar e gerar serviços para si e para outros dispositivos M2M (CHEN; WAN; LI, 2012) (BUONACCORSI et al., Piscataway : IEEE, 2012) (LIN; REN; CERRITOS, 2013) (QIU; MA; CHEN, 2017).

A Figura 6 descreve como as Capacidades dos Serviços (CSs) podem ser escolhidas no “domínio de Rede e Aplicações” a partir de uma solicitação de um dispositivo M2M. A partir do roteamento de funções é possível definir a “Capacidade dos Serviços” mais adequada para um tipo de solicitação e assim ser possível gerar as “Aplicações M2M da rede”. Isso se deve porque nem sempre uma “Capacidade dos Serviços” é conhecida no início da interação, isso faz com que as vezes um ponto de referência seja necessário para encontrar essas “Capacidades do

Figura 5 – Arquitetura M2M desenvolvida pela ETSI



Fonte: Adaptado de Lo, Law e Jacobsson (2013)

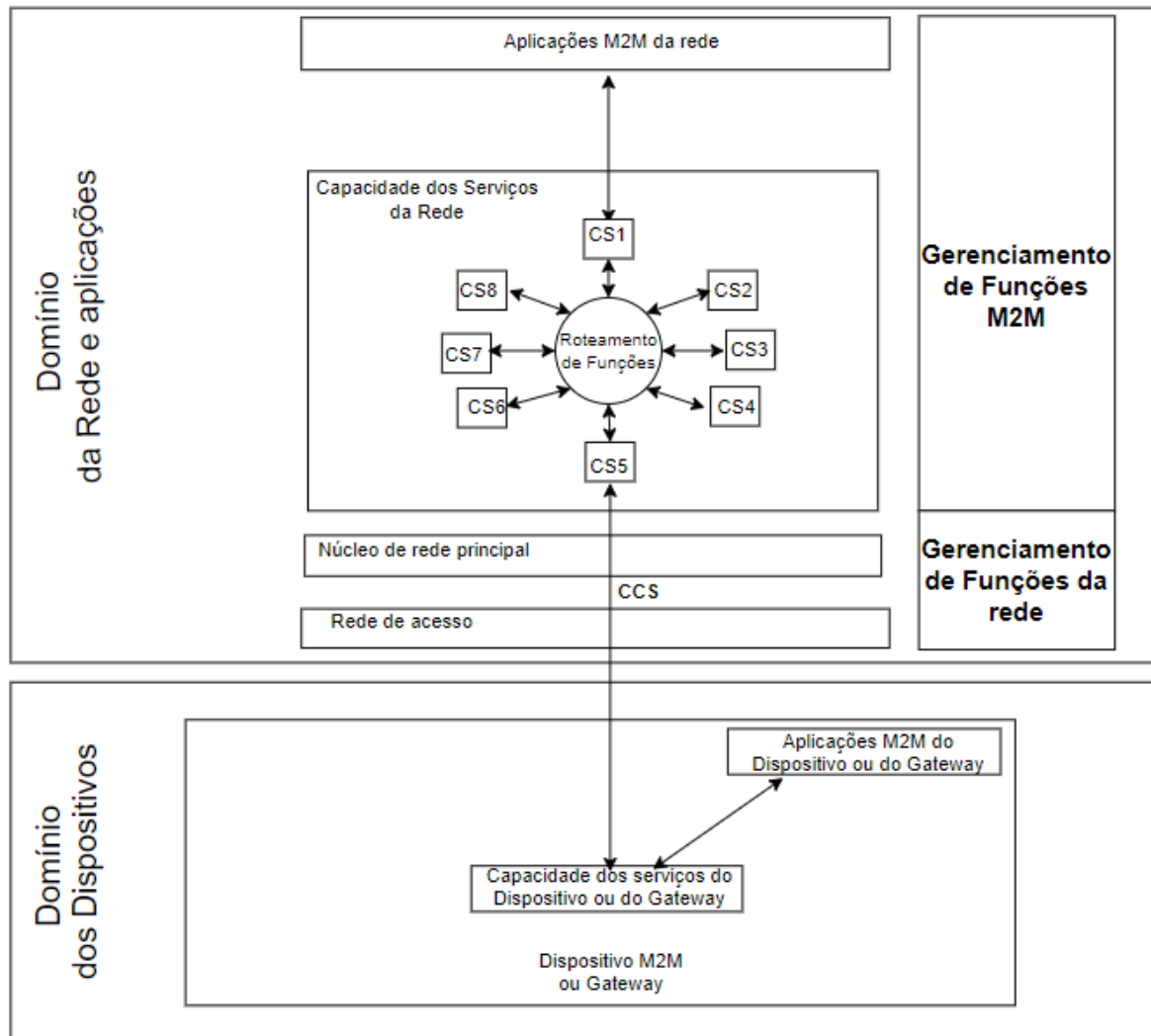
Serviços”. Na Figura 6, as “CS” 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 são agrupadas internamente na “Capacidade dos Serviços da Rede”. Nesse ponto, a partir da “Capacidade dos Serviços da Rede” é possível ter acesso às demais “Capacidades dos Serviços” (ELLOUMI; FORLIVESI, 2012).

A “Aplicação M2M” por meio do “Dispositivo” ou do “Gateway” possibilita que a “Capacidade dos Serviços do Dispositivo” consiga acessar a aplicação desse mesmo dispositivo ou, que a “Capacidade dos Serviços do Gateway” seja acessada pelo mesmo, ou por outros dispositivos M2M na mesma rede local de comunicação (ELLOUMI; FORLIVESI, 2012).

A “Comunicação entre Capacidades dos Serviços” (CCS) permite a comunicação entre a “Capacidade dos Serviços dos Dispositivos M2M” ou “Gateway” e as “Capacidades dos Serviços da Rede” (ELLOUMI; FORLIVESI, 2012). Com a CCS é possível acessar as “Aplicações M2M da Rede” (ELLOUMI; FORLIVESI, 2012).

Funções para extração de dados, armazenamento e processamento de informações fazem parte da “Capacidade dos Serviços”. Estas podem ser implementadas nos “dispositivos M2M”, no “Gateway” da rede local de comunicação, ou no “Domínio de Rede e aplicações” (rede

Figura 6 – Interação entre as Capacidades dos Serviços da Rede



Fonte: Adaptado de Elloumi e Forlivesi (2012)

externa) (LIN et al., 2016). As “aplicações M2M” podem ser implementadas nos dispositivos M2M, no “Gateway” ou acessíveis por meio da rede de comunicação. Esses últimos são geridos usando a “Capacidade dos Serviços da Rede” (GLITHO, 2011) (ELLOUMI; FORLIVESI, 2012).

Ainda na Figura 5, as “Capacidades dos Serviços” foram criadas: (1) no *Gateway*, dando suporte e possibilitando que os dispositivos M2M A, B e C consigam interagir inicialmente por uma rede local de comunicação e posteriormente com a rede externa de comunicação; (2) na “Rede”, incluindo os serviços de roteamento da Figura 6 e ao acesso a diversos outros dispositivos M2M; e por último no “dispositivo M2M”, possibilitando que um próprio dispositivo tenha sua própria “Capacidade dos Serviços”.

A implementação das “Capacidades dos Serviços” dependem da aplicação requerida. Nesse sentido, a comunicação entre dispositivos locais ou entre dispositivos externos podem

interagir com as “Capacidades dos Serviços”: (1) dos “Dispositivos M2M” (se existirem); (2) do “Gateway” (se existirem); e (3) da “Rede”, caso obrigatório para comunicações por meio de uma rede externa de comunicação. Se for necessário, todas as “Capacidades dos Serviços” podem ser usadas de acordo com uma aplicação específica (GLITHO, 2011) (ELLOUMI; FORLIVESI, 2012).

Em Liu et al. (2017), Queiroz et al. (2019) e Cerritos, Lin e Bastida (2016), são mostradas as relações de tecnologias que podem ser implementadas atribuindo cada “Capacidade do Serviço”.

As funcionalidades das Capacidades dos Serviços

As “Capacidades dos Serviços” possuem funções que permitem a autonomia daquele dispositivo em fornecer meios para comunicação, segurança, sistemas de armazenamento de informações sem depender de outros dispositivos (ELLOUMI; FORLIVESI, 2012).

Essas funções são descritas em Tsiatsis et al. (2018) e são representadas na Figura 7. A interconexão entre as Capacidades dos Serviços é representada por CCS. Algumas funções são obrigatórias e outras optativas a depender da implantação. Nesse sentido, cada função pertence às “Capacidades dos Serviços”, onde o **X** define a “Capacidade dos Serviços do Dispositivo” (D), do “Gateway” (G) ou da “Rede” (R):

Ativação da Aplicação (AAX) - Função responsável por fornecer as aplicações, sua implementação, seu registro e também a troca de informações entre dispositivos M2M em uma mesma “Capacidade dos Serviços”. Além disso, pode fornecer operações de segurança, autenticação e autorização de aplicações.

Comunicação Genérica (CGX) - Função responsável por integrar todas as “Capacidades dos Serviços”; a partir dessa função é possível realizar a “Comunicação entre Capacidades dos Serviços” (CCS), transportar mensagens, identificar os mais adequados mecanismos de segurança, além de emitir relatórios de erros, como os de transmissão.

Alcanceabilidade, endereçamento e Repositório (AERX) - Uma das principais funções da arquitetura ETSI-M2M. Armazena informação sobre nomes de dispositivos, “Gateways” para acessibilidade e agendamento, como por exemplo informações sobre a disponibilidade de um dispositivo em um determinado horário. Além disso, fornece gerenciamento de grupo (dispositivos, “Gateways”) para atualização, criação ou exclusão de informações.

Seleção de Comunicação (SCX) - Seleciona a mais adequada rota para a rede de comunicação quando houver a opção de escolha, ou nova rota, quando a rede de comunicação escolhida apresentar erros.

Gerenciamento Remoto da Entidade (GREX) - Coleta informações de desempenho e falhas nos dispositivos, fornece atualizações e gerência configurações de redes locais de comunicação e dispositivos.

Segurança (SX) - Define mecanismos de segurança como: gestão de chaves de segurança, autenticação mútua entre dispositivos comunicantes e mecanismos de integridade da plataforma de comunicação.

Retenção de dados e Histórico (RDHX) - Função opcional, fornece suporte para a retenção de informações de outras “Capacidades dos Serviços”, assim como as mensagens trocadas.

Gerenciamento de Transações (GTX) - Função opcional, oferece suporte para transações atômicas de múltiplas operações. São definidos como: (1) propagação de uma solicitação para vários destinatários; (2) coleta de respostas; (3) aceitar ou recusar, nas quais as transações podem ser concluídas com sucesso ou não.

Broker de Compensação (BDCX) - Função opcional que solicita e providencia suporte de intermediação M2M para ajudar a interação entre o Cliente e um provedor de Serviços. Nesse caso, a interação do cliente e o provedor de Serviços formam uma aplicação M2M.

Exposição de Operador Telco (EOTX) - Função opcional, fornece a exposição da rede principal de comunicação que é gerida por um operador de rede de telecomunicações.

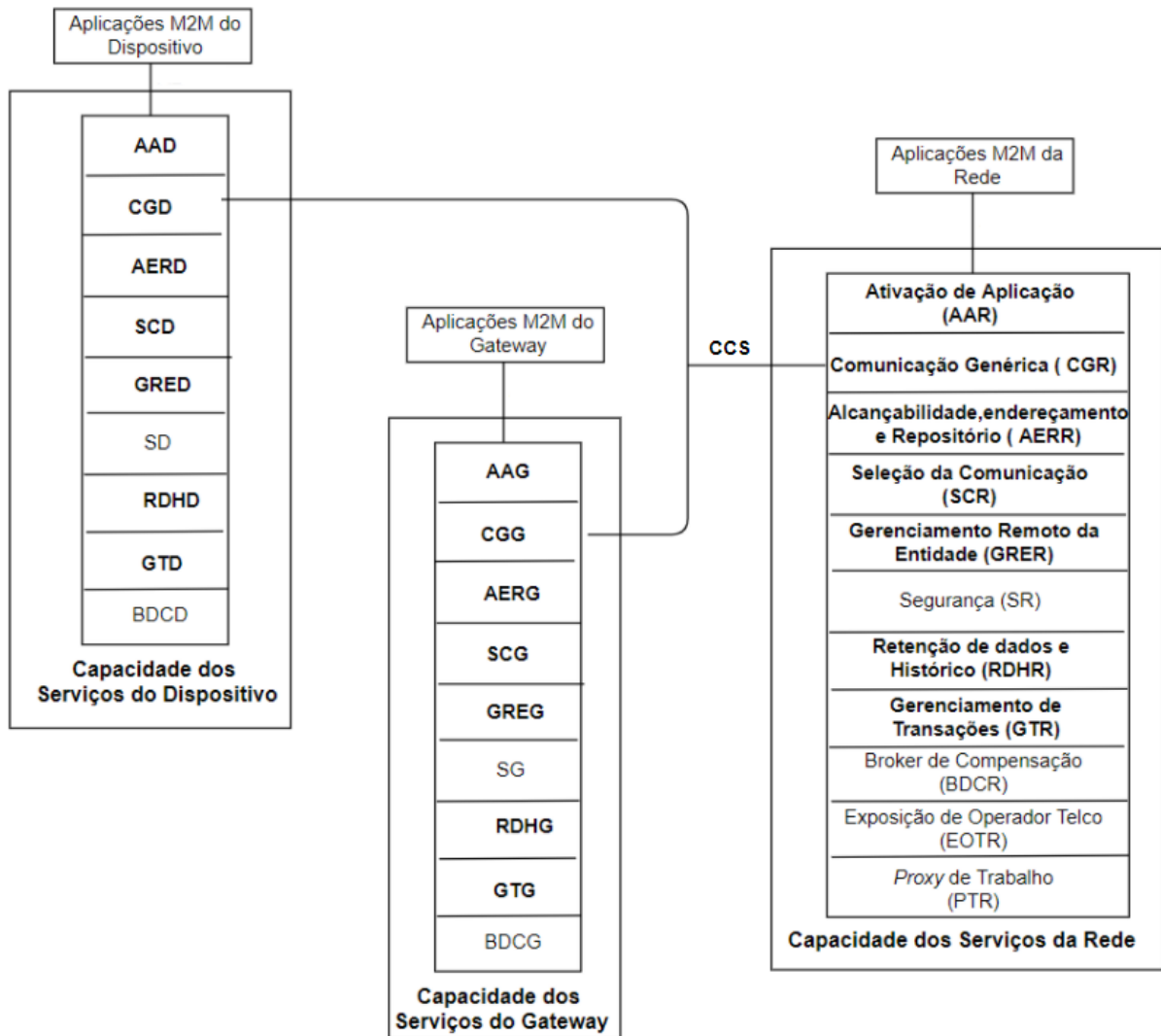
Proxy de trabalho (PTX) - Função que oferece conexão com dispositivos e “Gateways” que não utilizam a ETSI-M2M.

Para utilização dessas funções, alguns conceitos necessitam serem incorporados à interação M2M. Nesse quesito se destaca à *Internet of Things*.

2.2 *Internet of Things (IoT)*

A *Internet of Things (IoT)* corresponde à comunicação entre dispositivos que possuem sensores, atuadores e dispositivos digitais que têm o objetivo de coletar e extrair informações do meio com a utilização de uma conexão de dados (ZHONG et al., 2017).

Figura 7 – Funções das Capacidades dos Serviços



Fonte: O autor

Uma infraestrutura IoT pode ser dinâmica ou configurável, possuindo protocolos de comunicação interoperáveis, ou seja que tenham a capacidade de comunicação, no qual as partes físicas e digitais dos dispositivos são integradas, utilizando uma interface de comunicação (KRAMP; KRANENBURG; LANGE, 2013).

As “*Things*” são compostas de: **Identificadores**, para identificação exclusiva de cada componente; **Sensores**, para captar mudanças no meio que estão inseridos e direcionar esses dados para sistemas capazes de analisar as informações; e **Atuadores**, para mover equipamentos com o auxílio das informações extraídas da análise dos dados (LANOTTE; MERRO, 2018).

IoT também pode ser aplicada em um ambiente industrial. Suas características são modificadas com o objetivo de abranger os aspectos essenciais de comunicação dentro de um

sistema produtivo. Por esse motivo, IoT na indústria é conhecido como *Industrial Internet of Things* (IIoT) (MARCON et al., 2017) (SALLES et al., 2018).

Em Mumtaz et al. (2017) são definidos alguns requisitos para a adequação da IIoT na Indústria 4.0:

- Integração entre dispositivos de diferentes fornecedores;
- Integração inter organizacional de informações e serviços de variadas indústrias;
- Integração entre domínios de sistemas de negócios de várias indústrias.

Na Tabela 2 é apresentada a comparação entre IoT e IIoT.

Para a Indústria 4.0, a troca de informações vai ocorrer entre empresas, entre Centros de trabalhos e também entre máquinas. Os meios para armazenamento de informações necessitarão ser amplos o suficiente para guardar os volumes de dados de todos os ativos da indústria desde a criação do produto até seu descarte. Com essas informações, empresas e máquinas poderão saber o que outras empresas e máquinas fazem e assim iniciar serviços cooperativos para a criação de um determinado produto.

Tabela 2 – Comparação entre IoT e IIoT

Categorias	IoT	IIoT
Troca de informações	Negócios para consumidores; ou Negócios para empresas de consumidores	Negócios para Negócios
Seguimento do mercado	Consumidores, pequenas empresas, pequenos negócios e provedores de serviço	Empresas
Volume de dados	<i>Big Data</i> para operações complexas e restritas para as necessidades dos clientes	Dados específicos e limitados
Uso principal	Conveniência dos consumidores e necessidades dos clientes	Economizar dinheiro com rápido tempo de comercialização
Conectividade	Para utilização em Construção, automação, empresas, mensagens e etc.	Segurança, cuidados de saúde, energia, aeroespacial, defesas e etc.

Fonte: Adaptado de Mumtaz et al. (2017)

Na conexão tanto com IoT quanto em IIoT, tem-se a necessidade de “criar uma rede de comunicação” para que os dispositivos se conectem entre si. Isso é possível porque além de identificar mudanças no meio, o sensor também tem a função de interligar diversos outros sensores em um serviço de comunicação em comum. Essa interação entre sensores permite que exista uma Rede de Sensores sem Fio em que o importante é passar as informações entre dispositivos sem a necessidade de fios e de forma independente um do outro.

2.2.1 Rede de Sensores sem Fio (RSSF)

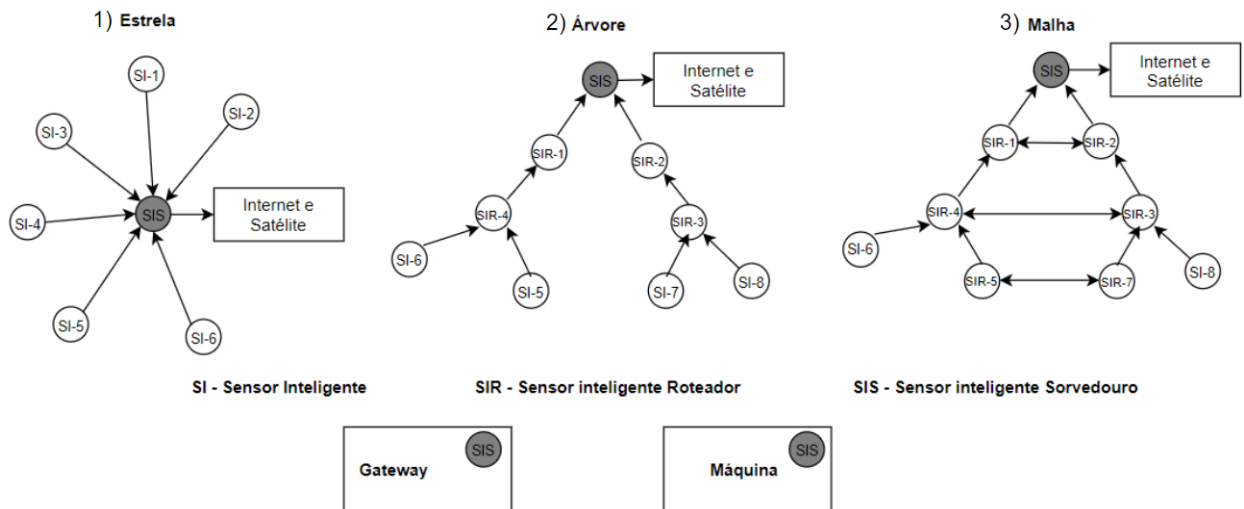
Mais do que uma tecnologia para a transmissão de informações sem o uso de fios, o RSSF pode ser visto como um conceito que faz parte da IoT e que consiste de um conjunto de sensores, distribuídos fisicamente e, cada um com certo grau de independência e autonomia para enviar informações para algum tipo de central de coleta de dados com o objetivo de monitorar as condições físicas de um equipamento e/ou sistema ou até um ambiente físico (CHEN; WAN; LI, 2012).

Os dados coletados pelos “nós sensores” são encaminhados para um “nó sensor sorvedouro”. Depois disso, esse “nó sensor sorvedouro” envia as informações para um servidor conectado à rede de comunicação (MARGI et al., 2009). O “*Gateway*” pode integrar o “nó sensor sorvedouro” a um servidor conectado à rede de comunicação; uma outra opção é o próprio dispositivo ter essa capacidade de conexão, algo como a “Capacidade dos Serviços do *Gateway*” e do “Dispositivo” respectivamente, na Figura 6.

Na Figura 8 estão representadas três topologias diferentes utilizadas para RSSF: 1) **Estrela**, formada por um “Sensor Inteligente Sorvedouro” (**SIS**) interconectando todos os “Sensores Inteligentes” (**SI**), sendo a topologia mais simples; 2) **Árvore**, um Sensor Inteligente Roteador (**SIR**) conectando alguns sensores inteligentes que têm a capacidade de rotear informações de outros Sensores Inteligentes e enviar informações para um **SIS**, porém seguindo apenas um caminho pré definido; e 3) **Malha**, possui o **SIR** que consegue mudar o caminho de envio de informações, caso exista algum problema em algum SI no caminho até o **SIS** (GOMES et al., 2014). No caso 1, o **SIS** pode representar um sensor que consegue se interligar ao “*Gateway*”; outra possibilidade seria pelo caso 2, no qual o **SIS** pode representar um sensor que pertence a uma máquina, que devido à proximidade com o servidor da rede de comunicação consegue passar as informações de todos os sensores inteligentes, incluindo as suas informações, para a *internet*.

Com o advento dos sensores inteligentes, o próprio nó determinará seu ciclo vida e para onde as informações que chegam devem ser enviadas, podendo organizar a sequência de tarefas a serem executadas com frequência de amostragem mínima e máxima, controlar a quantidade de energia disponível em sua bateria e as informações recebidas dos seus vizinhos e evitar perdas de pacotes e atrasos na troca de informações (MARGI et al., 2009).

Figura 8 – Topologias básicas da RSSF



Fonte: O autor

A RSSF trata da parte de coleta de informações que é uma funcionalidade básica para qualquer atividade de monitoração de um processo ou sistema. Na IoT outra parte relevante está relacionada às comunicações entre dispositivos para atividades de tomada de decisão com base nas informações monitoradas e para as ações/atividades de controle e gestão de processos e sistemas físicos.

2.3 Cyber Physical System (CPS)

Na literatura o significado de *Cyber Physical System (CPS)* é ainda muito diversificado.

Segundo Zhong et al. (2017), CPS corresponde à integração de diversos objetos físicos e *softwares* que são interconectados por um serviço de rede de comunicação, permitindo que os dispositivos físicos e digitais interajam entre si usando várias formas de troca de informações.

Schätz (2016) considera CPS como sistemas complexos que são capazes de controlar e coordenar processos físicos e organizacionais em um local ou em escala global, por meio do uso de tecnologia da informação e comunicação.

Por pertencer ao mundo físico e digital, CPS possui características dos sistemas de informação (técnico e corporativo). Eles consideram mecanismos internos para agregar dados distribuídos em informações, ajudar na auto-configuração de sua estrutura e situação atual e são altamente escaláveis, ou seja, conseguem aumentar com facilidade os processos suportados sem necessariamente aumentar os custos (SCHÄTZ, 2016).

O aumento do número de sensores e máquinas na rede de comunicação faz com que ocorra um crescimento da quantidade de dados, ou *Big Data*. Nessa situação, o CPS tem como um dos objetivos utilizar esses dados e possibilitar a interconectividade das máquinas, facilitando a implantação de máquinas inteligentes, resilientes e auto-adaptáveis. Com isso, o CPS, ao ser colocado dentro da Indústria, teria um potencial econômico significativo para diminuição de custos de manutenção e interconectividade (LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

Os parágrafos anteriores ilustram a variedade de definições propostas para CPS. Apesar de apresentarem diferentes visões, estas sugerem que no ambiente industrial o CPS representa a base para a implantação de máquinas inteligentes, isto é, equipamentos com maior grau de autonomia para coleta e análise de dados, tomada de decisões e, execução de ações de controle considerando a otimização dos processos como um todo.

2.4 M2M-IoT-RSSF-CPS

As seções anteriores apresentam conceitos que estão de alguma forma relacionados, mas até que ponto é este relacionamento e suas interfaces não estão claras.

Na literatura existem diversos pontos de vista sobre a relação entre esses conceitos. Segundo Lin et al. (2017), enquanto CPS representa as funcionalidades do sistema, IoT representa a conexão entre os diversos dispositivos físicos-virtuais que compõem esse sistema.

Para atender diversas demandas, o CPS deve estender suas funcionalidades para integrar tecnologias de comunicação heterogêneas e incorporar sistemas cada vez mais sofisticados (SERPANOS, 2018).

Segundo Darmais e Elloumi (2012), IoT e M2M são parecidos sob diversas circunstâncias, porém, nenhum é subconjunto do outro e existem áreas específicas para cada um. No futuro, com os avanços tecnológicos na interação M2M, talvez seja possível diminuir ainda mais a diferença entre esses dois conceitos.

Uma abordagem sobre as relações entre M2M-IoT-RSSF-CPS é descrita em (CHEN; WAN; LI, 2012), nela:

- RSSF é tratada como o complemento da interação M2M, a primeira etapa de IoT e o princípio inicial, ou a “Fundação”, para a criação do CPS;

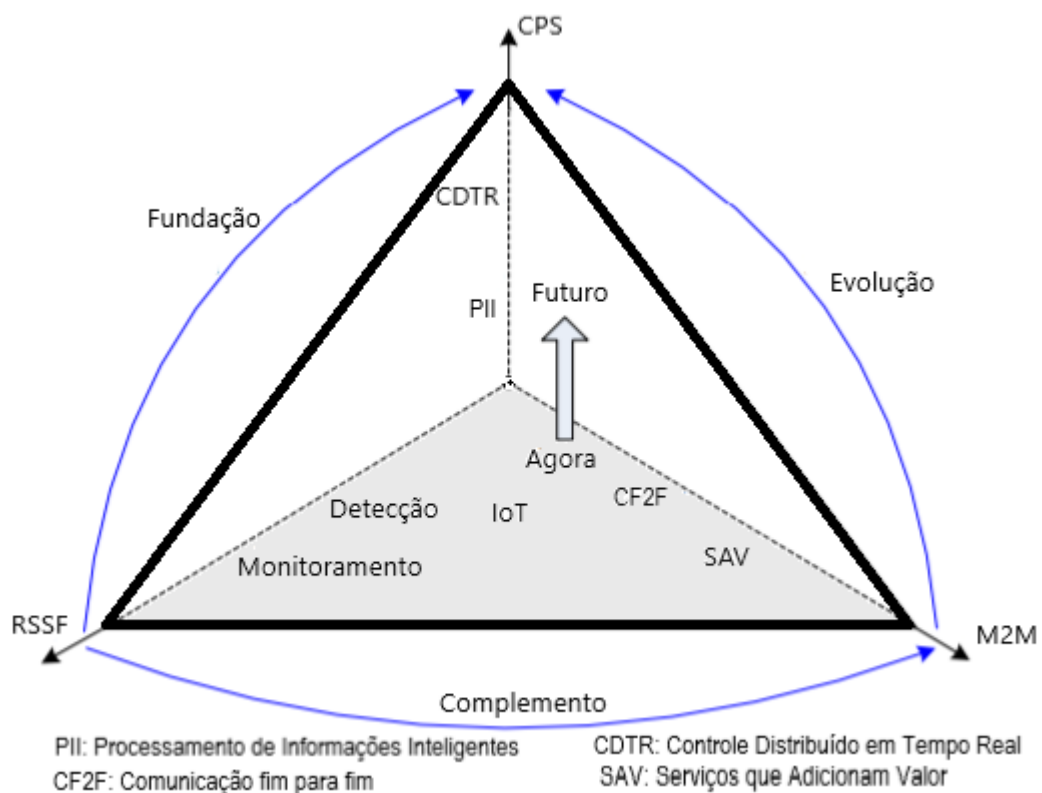
- CPS representa o aprimoramento para processamento inteligente de informações da interação M2M e a “Evolução”, ou seja, o aprimoramento para os futuros dispositivos baseados em IoT;

- M2M é um padrão IoT;
- RSSF, M2M e CPS pertencem a IoT.

Na Figura 9 está a representação de Chen, Wan e Li (2012) para a relação entre os diversos conceitos e como eles podem afetar a interação M2M. A RSSF identifica mudanças no meio e passa informações ao sistema; M2M permite a Comunicação Fim a Fim (CF2F), ou seja, a comunicação sem um servidor central, e os Serviços que Adicionam Valor (SAV); o CPS aperfeiçoa o Controle Distribuído em Tempo Real (CDTR); e o Processamento de Informações Inteligentes (PII), analisando dados e enviando informações para os dispositivos que necessitam.

IoT é compreendido por Chen, Wan e Li (2012) como a base da pirâmide. Com o tempo, as tecnologias atribuídas a cada conceito vão aumentar e a interconectividade por meio de IoT também.

Figura 9 – Relação entre M2M, IoT, CPS e RSSF



Fonte: Adaptado de Chen, Wan e Li (2012)

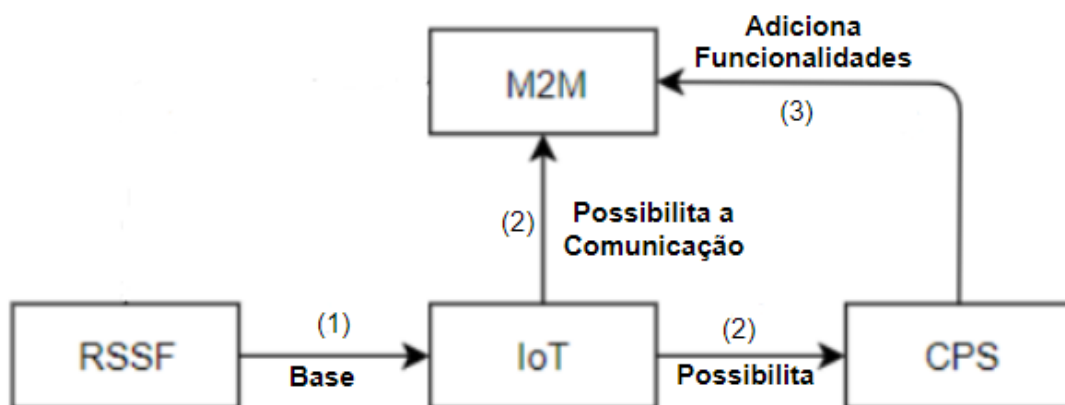
O CPS possibilita a maior qualidade do processamento de informações e do controle de sistemas em tempo real.

Diante da variedade de definições na literatura sobre as interações M2M-IoT-RSSF-CPS, esse trabalho adota o seguinte:

- IoT é o responsável pela interação M2M;
- CPS representa o aumento da desempenho das aplicações IoT e consequentemente M2M;
- RSSFs representam a base de interação de IoT.

Na Figura 10 está a relação adotada nesse trabalho para os conceitos responsáveis **exclusivamente** para interação M2M. Nela: (1) RSSF serve de base para IoT; (2) IoT possibilita a interação M2M e permite a implantação do CPS; e o (3) CPS amplia o desempenho da interação M2M.

Figura 10 – Relação dos conceitos responsáveis pela interação M2M



Fonte: O autor, 2020

2.5 Reference Architectural Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

O *Reference Architectural Model for Industrie 4.0* (RAMI 4.0) é um modelo de arquitetura de referência da Indústria 4.0. Definido a partir da relação entre ativos que possibilitam a integração vertical (dentro da empresa), a integração horizontal (entre empresas) e a engenharia fim a fim (ADOLPHS et al., 2015).

Os ativos representam todos os bens físicos e virtuais da empresa incluindo máquinas, *softwares*, informações, infraestrutura, empregados e etc.

A Integração vertical é definida pela interconexão dos meios de produção dentro de uma mesma empresa (ADOLPHS et al., 2015). Integra todos os ativos da empresa, administrando informações e tendo estruturas comuns de interação entre seus ativos.

A Integração horizontal é definida como a interconexão entre diversos agentes envolvidos na fabricação de um produto (ADOLPHS et al., 2015). Esses agentes, ou empresas, são responsáveis por administrar suas próprias informações, comunicações e devem compartilhar serviços e criar soluções em conjunto com outros agentes, em que o objetivo central é a manufatura de produtos.

A engenharia fim a fim define que as informações técnicas, administrativas e comerciais criadas na fabricação de um determinado produto serão mantidas em toda cadeia de valor, ou seja, em toda período de utilização desse produto, podendo ser acessados via rede de comunicação durante e depois de sua criação, ou seja em todo seu ciclo de vida útil (ADOLPHS et al., 2015).

Segundo Schweichhart (2016), o RAMI 4.0 considera que seus ativos podem ter elementos externos da própria empresa e, a partir disso, interligar desde pequenos equipamentos até uma grande quantidade de estruturas em diversas partes do mundo.

Cada ativo da Indústria 4.0 é representado por um *Cyber Physical System*, tendo sua parte física e digital. As informações desse componente podem ser acessadas desde a concepção até o descarte desse ativo. Inicialmente esse ativo é um produto a ser fabricado, depois se torna um ativo com valor agregado, podendo ser utilizado na própria indústria como uma ferramenta para produção, como uma CNC (*Computer Numeric Control*), por exemplo.

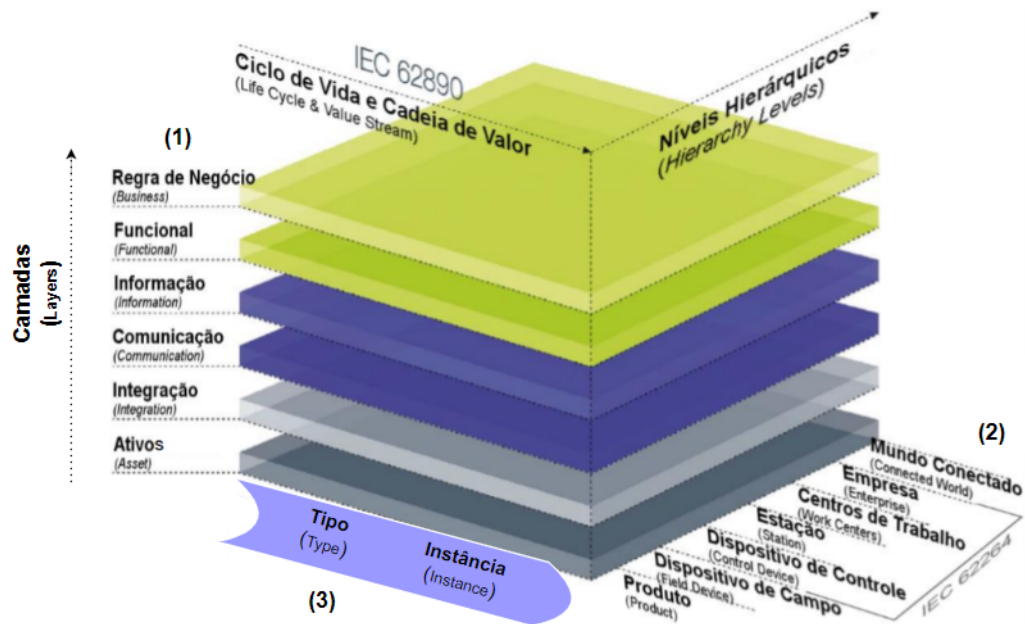
O RAMI 4.0 se orienta em 3 eixos representados por: (1) **Camadas**, (2) **Níveis Hierárquicos** e (3) **Ciclo de Vida e Cadeia de Valor**.

Na Figura 11 está o RAMI 4.0 e sua representação com 3 eixos. Cada eixo e seus níveis são definidos a seguir (ADOLPHS et al., 2015):

Camadas - eixo que representa os níveis das propriedades, funcionalidades e informações dos ativos, permitindo que os dispositivos consigam interagir e trocar informações uns com os outros. Esse eixo é dividido em seis níveis (ADOLPHS et al., 2015):

- Regra de Negócio - Responsável por definir as regras da empresa e questões regulatórias, definir que tipos de negócios devem ser criados e organizar os serviços no nível funcional;
- Funcional – Especifica e disponibiliza todas as funções de cada ativo. Nesse nível ocorre a integração horizontal, possibilitando a interação entre os ativos no contexto da Indústria 4.0;

Figura 11 – Reference Architectural Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0)



Fonte: Pisching (2017)

- Informação - Localização dos dados de todos os ativos, garantindo que os dados sejam processados e disponibilizados. Também executa testes e verificações de procedimentos e simulações;
- Comunicação - Define a padronização de dados com o objetivo de obter acesso à informação e providenciando serviços para o controle dos ativos no nível de Integração. Por meio desse nível ocorre a integração vertical;
- Integração - Nível para a conversão de informações do mundo físico para o digital ou vice-versa; nesse nível as informações dos ativos são coletadas por sensores;
- Ativos - Representa recursos físicos, como máquinas, atuadores, peças, documentos e pessoas.

Ciclo de Vida e Cadeia de Valor - Representa a organização dos processos produtivos de cada ativo dentro da Indústria 4.0, desde a concepção até o descarte. São divididos em (ADOLPHS et al., 2015):

- Tipo - Definido a partir de uma ideia inicial e passa a existir na fase de desenvolvimento. Ele ainda acrescenta a organização do projeto de fabricação do ativo, os testes necessários, a amostra e o protótipo para produção. A partir da validação é liberado para fabricação em série;
- Instância - Cada produto manufaturado representa a Instância de um determinado Tipo. A Instância representa o ativo sendo utilizado como ferramenta para a manufatura de um

determinado produto, ou um produto em uma fase final de fabricação com suas características funcionais já estabelecidas na manufatura.

Níveis Hierárquicos - Considera a hierarquia do sistema de controle e gestão de processos industriais baseado nas normas internacionais ISA-95 e IEC 62264 e define a classificação de cada ativo da Indústria 4.0, adicionando os níveis de produto e Mundo Conectado (ADOLPHS et al., 2015) (PISCHING, 2017):

- Produto - Objetivo final no processo de fabricação.
- Dispositivo de campo (sensores e atuadores) - Dispositivos responsáveis por monitorar e atuar nos meios de produção. Com esses dispositivos é possível extrair informações e modificar situações da manufatura;
- Dispositivo de controle (CLPs) - São os ativos responsáveis pelo controle dos Dispositivos de campo da Indústria 4.0;
- Estação (máquinas) - São os ativos responsáveis pela fabricação do produto;
- Centros de Trabalho - São núcleos dentro de uma empresa com serviços e máquinas específicas;
- Empresa - Entidade que fabrica um ou mais produtos. Necessitam gerenciar os Centros de Trabalho, Estações, Dispositivos de controle e Dispositivos de campo com a finalidade da fabricação do produto;
- Mundo Conectado - Com a Indústria 4.0, empresas de diversos ramos trocarão informações e juntas irão fabricar novos produtos por meio de uma rede colaborativa de serviços.

2.5.1 Componentes I4.0

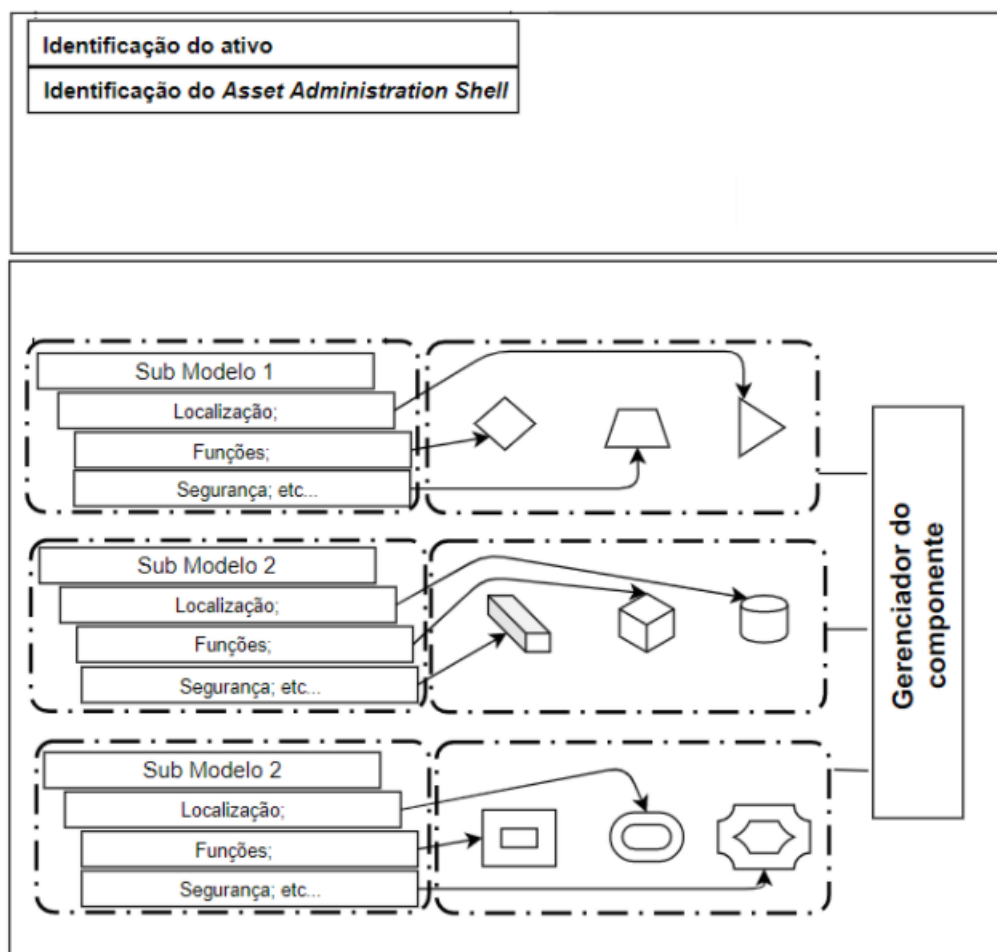
Do RAMI 4.0 deriva o conceito de Componente I4.0, isto é, como um ativo do mundo real é tratado no mundo digitalizado ou seja no mundo virtual. Assim, o Componente I4.0 tem 2 partes: a parte do ativo real (pode ser um produto, um dispositivo, um equipamento, um *software*, um processo, um plano, uma fórmula química, etc.) e a parte que o ativo é descrito no mundo virtual. Esta última parte é chamada de *Asset Administration Shell* (LÖWEN et al., 2016) (ADOLPHS et al., 2015).

O *Asset Administration Shell* descreve as características fundamentais de cada ativo na Indústria 4.0. Essas características incluem o nome do ativo, identificação, funcionalidades,

localização, tipo de comunicação, configuração, segurança, ciclo de vida e diversos outros mecanismos para monitoramento e controle do mesmo (BEDENBENDER et al., 2017a).

A estrutura geral do *Asset Administration Shell* é composta pela “identificação do Ativo” e seus “sub modelos”, ilustrado na Figura 12. Os “sub modelos” definem as funcionalidades e propriedades do ativo assim como suas características operacionais (BEDENBENDER et al., 2017a). Esses “sub modelos” são integrados pelo “Gerenciador do Componente” que consegue relacionar funcionalidades entre “sub modelos” do ativo.

Figura 12 – Estrutura Geral do *Asset Administration Shell*



Fonte: Adaptado de Bedenbender et al. (2017a)

O *Asset Administration Shell* pode ser classificado em “*Asset Administration Shell* Central”, “*Asset Administration Shell* centrado em componentes”, e “*Asset Administration Shell* distribuído” (WENGER; ZOITL; MÜLLER, 2018).

No “*Asset Administration Shell* Central” as informações dos Componentes I4.0 são centralizadas em um único ponto da empresa (WENGER; ZOITL; MÜLLER, 2018).

No “*Asset Administration Shell* Centrado em Componentes”, cada Componente I4.0 do sistema tem o seu próprio *Asset Administration Shell* junto com seus “sub modelos” (WENGER; ZOITL; MÜLLER, 2018).

No “*Asset Administration Shell* distribuído”, o *Asset Administration Shell* e os “sub modelos” não precisam pertencer ao ativo em si. Os ativos apenas são vinculados ao seu *Asset Administration Shell* e seus “sub modelos” e necessitam apenas serem acessados para as informações serem adquiridas (WENGER; ZOITL; MÜLLER, 2018). Esse *Asset Administration Shell* é uma alternativa para economizar memória e energia para troca de mensagens entre Componentes I4.0.

O *Asset Administration Shell* está presente no RAMI 4.0 no eixo Camadas, representado pelas características e funcionalidades dos ativos, e no eixo níveis hierárquicos definindo que grupo de ativos são retratados (LÖWEN et al., 2016).

Os ativos são a base para a composição de outros ativos de maior nível hierárquico (BEDENBENDER et al., 2017a). Por exemplo, os sensores, atuadores e dispositivos de controle pertencem à máquina, e as máquinas são os elementos do Centro de Trabalho. Com isso, quando o *Asset Administration Shell* for baseado especificamente em uma máquina, os sensores, atuadores e dispositivos de controle não precisarão ser representados, porque eles estão dentro dessa máquina.

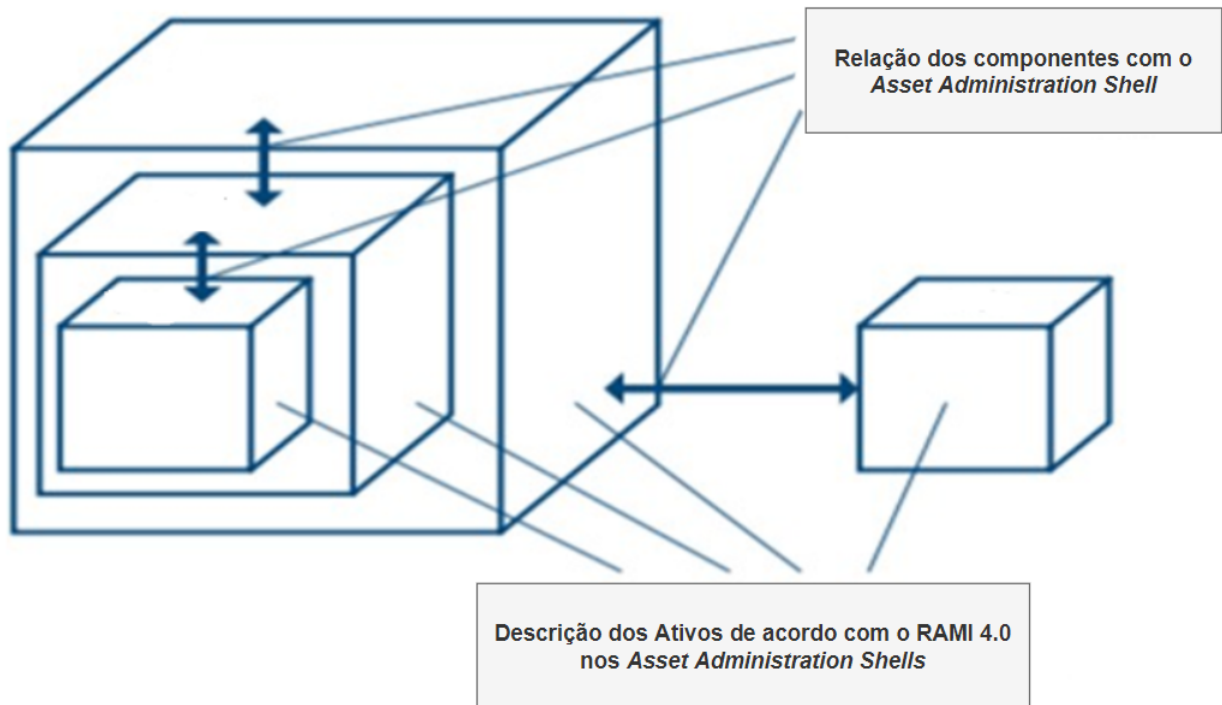
Na Figura 13 está a representação de alguns Componentes I4.0, sendo os ativos de menor nível hierárquico, como o sensor, incorporados na estrutura dos ativos de maior nível hierárquico, como controlador e/ou máquina.

A relação de todas as informações dos ativos, assim como os elementos que fazem parte dele em todo o ciclo de vida estão estabelecidos no Repositório, que será explicado a seguir.

2.5.2 Repositório

Os *Asset Administration Shells* dos Componentes I4.0 podem, em princípio, ser implantados separadamente, porém, mantendo sempre a referência exclusiva ao ativo. O compartilhamento de todos os *Asset Administration Shells* formam o repositório. O repositório inclui o banco de dados totalmente distribuído e armazena todas essas informações (BEDENBENDER et al., 2017a).

Figura 13 – Relação entre ativos de diferentes *Asset Administration Shells*



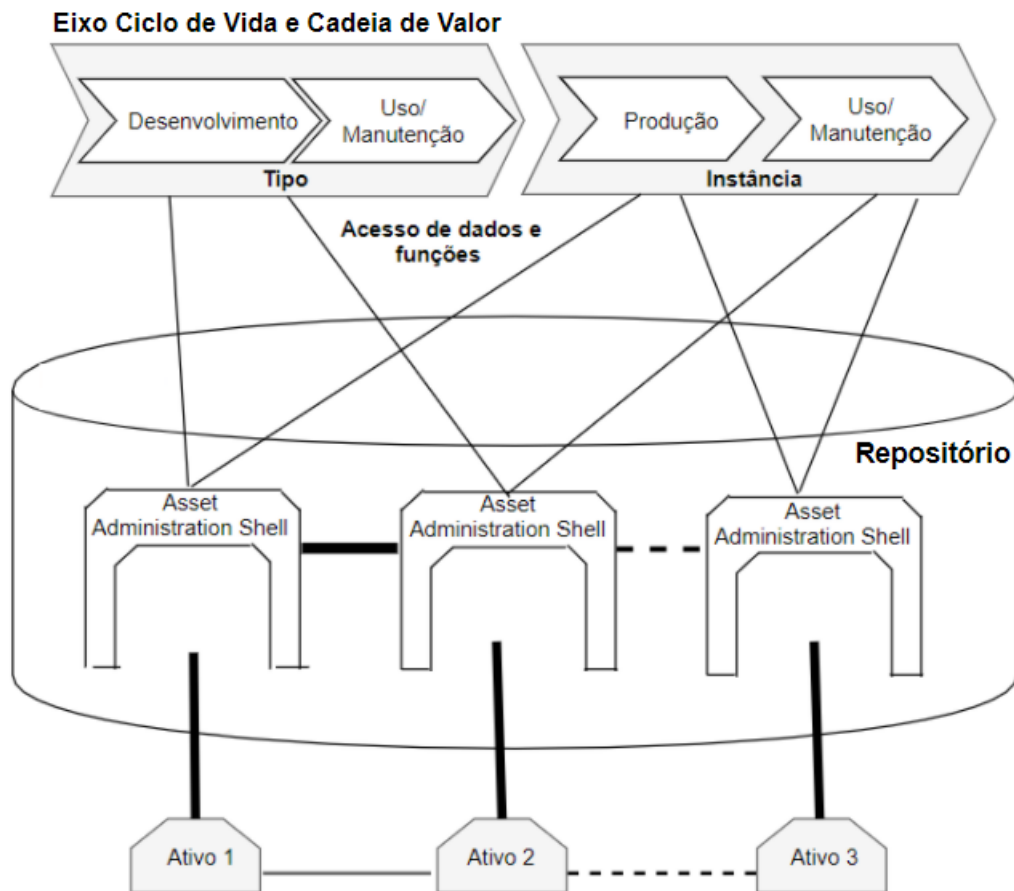
Fonte: Adaptado de Bedenbender et al. (2017a)

Na Figura 14 está a representação do Repositório com os *Asset Administration Shells* dos ativos 1 e 2. Para formar o Ativo 3 são necessárias as informações de todo o histórico de dados de ambos os ativos, desde a fase de desenvolvimento no “Tipo”, até a produção na fase de “Instância”. A partir disso, o *Asset Administration Shell* e o dispositivo físico do Ativo 3 são criados como uma “Instância” (BEDENBENDER et al., 2017a). Ou seja, o “Ativo 1”, durante o seu processo de fabricação, possui o seu *Asset Administration Shell*. Quando fabricado com o Ativo 2, que também possui seu próprio *Asset Administration Shell*, ele pode se tornar um “Ativo 3”, ou uma “Estação” dentro de outra indústria que possua um *Asset Administration Shell* particular para seu novo nível hierárquico. Nesse caso, no Repositório poderão ser acessados os *Asset Administration Shells* dos “Ativos 1 e 2” e o *Asset Administration Shell* da “Estação”.

Além de possuir os *Asset Administration Shells* de todo o ciclo de vida do ativo, o repositório necessita também ser acessado para extrair dados atuais de funcionalidades desse ativo, como por exemplo, a velocidade de rotação máxima de um equipamento para um determinado processo produtivo (WAGNER et al., 2017).

Um dado importante em relação ao Repositório é que ele não tem as informações das funções e propriedades de cada ativo, essas informações estão no *Asset Administration Shell* do

Figura 14 – Repositório na Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Bedenbender et al. (2017a)

próprio ativo, porém ele tem o endereço e localização dessas informações. Ou seja, seu *Asset Administration Shell* funciona de forma distribuída.

Do exposto, fica claro que a interação M2M no contexto da Indústria 4.0 envolve necessariamente a comunicação entre os Componentes I4.0, isto é, num sistema I4.0 a implementação da interação M2M requer que a comunicação entre os Componentes I4.0 atenda certas especificações e procedimentos.

2.6 Comunicação entre Componentes I4.0

Para o ambiente industrial, existe a norma IEC TR 62390 que orienta o desenvolvimento de perfis, i.e., conjunto de funcionalidades, para dispositivos de campo e dispositivos de controle, independentemente de sua complexidade (HEER et al., 2017).

Os Componentes I4.0 podem ser vistos como estes dispositivos de modo que as funcionalidades citadas na norma, principalmente aquelas relacionadas com políticas de segurança e

graus de compatibilidade podem ser aplicadas também para a interação entre estes Componentes I4.0. Essas funcionalidades são classificadas da seguinte maneira (HEER et al., 2017):

Comportamento Dinâmico - Cria as chaves de segurança e desenvolve uma comunicação com confiança;

Funcionalidade do aplicativo - Habilita as permissões de um cliente, ou seja, da entidade que consome serviços de um servidor;

Semântica dos parâmetros - Habilita os clientes e funções que podem ser acessados para interação entre Componentes I4.0;

Tipos de Dados - Identifica os certificados e protocolos existentes e cria *tokens* de segurança para estabelecimento da conexão;

Acesso a dados - Cria regras para acesso (Leitura, Leitura/Escrita, Escrita) aos dados;

Interface de comunicação - Interface gerada pelo OPC-UA ¹, que é a base de comunicação na Indústria 4.0;

Protocolos de Comunicação - Protege os dados por meio do TLS ² (*Transport Layer Security*).

Desta forma, a comunicação entre Componentes I4.0 requer que o *Asset Administration Shell* envolva mais que a simples execução de protocolos de comunicação. Para essa comunicação, primeiramente é necessário (i) estabelecer os acordos sobre permissões (que tipos de informações devem ser enviados e o que cada Componente I4.0 necessita fazer), (ii) definir os acessos permitidos (chaves eletrônicas, por exemplo) e (iii) os perfis (conjunto de funcionalidades) de segurança. Para iniciar uma comunicação, o *Asset Administration Shell* deve fornecer informações de segurança dos Componentes I4.0 envolvidos. A segurança da informação e do transporte deste varia para cada tipo de aplicação. Nessa situação, o tempo de resposta e o poder de processamento de informações podem também ser requisitos para a interação entre Componentes I4.0 (HEER et al., 2017) (RAUCHHAUPT et al., 2016).

Segundo Rauchhaupt et al. (2016), a “Comunicação” do eixo Camadas do RAMI 4.0 descreve “QUEM” está se comunicando. O *Asset Administration Shell* descreve “COMO” ocorre essa interação.

¹ Padrão industrial com plataforma independente utilizado para a comunicação de vários tipos de sistemas e dispositivos que funcionam a partir da troca de mensagens entre clientes e servidores (PESSOA et al., 2018).

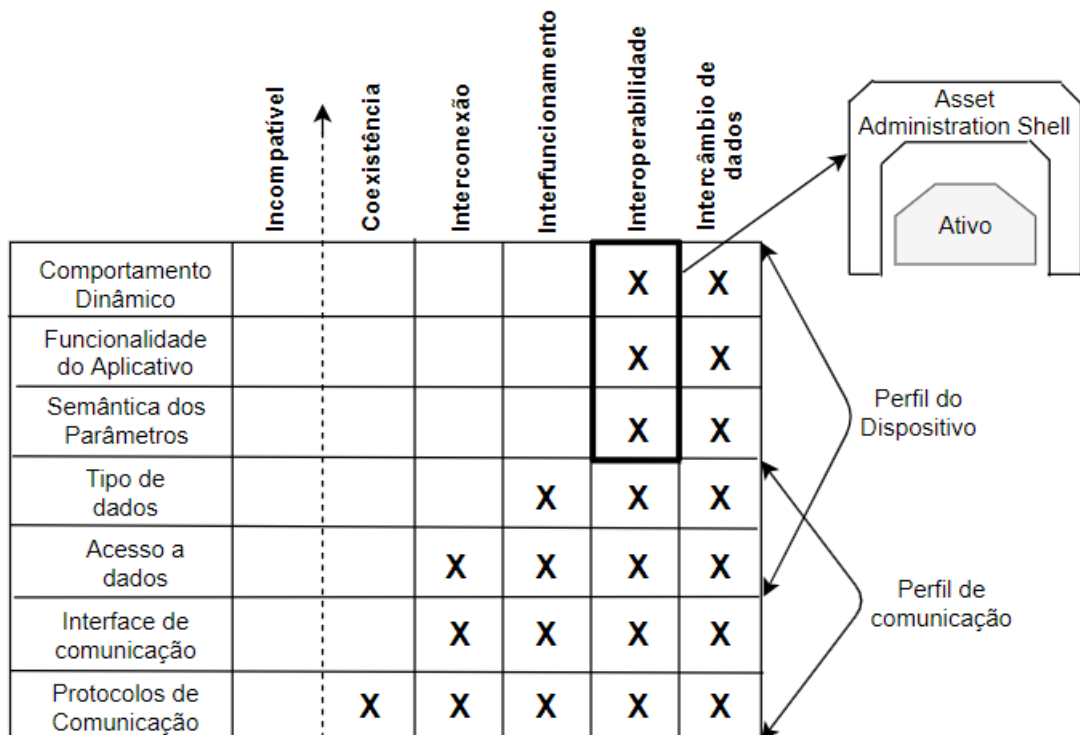
² Protocolo que criptografa dados trocando as principais chaves de maneira segura (CHOI; LEE, 2016).

Os graus presentes na norma IEC TR 62390, segundo Wilamowski e Irwin (2016), podem ser divididos de acordo com as funcionalidades. Esses graus são divididos em: “Coexistência”, “Interconexão”, “Interfuncionamento”, “Interoperabilidade” e “Intercâmbio de dados”.

Os graus de “Coexistência” e “Interconexão” não realizam a interferência, ou seja não trocam comandos, entre Componentes I4.0 e possuem apenas a capacidade de traduzir dados no canal físico, como por exemplo monitorar variações na voltagem ou taxa de *bits*. O grau de “Interfuncionamento” não consegue realizar a interferência entre dispositivos, porém tem a capacidade de trocar e interpretar informações. Os graus de “Interoperabilidade” e “Intercâmbio de dados” têm a capacidade de trocar informações e os usa para trocar comandos nos dispositivos, por meio de funções padronizadas (WILAMOWSKI; IRWIN, 2016).

A Figura 15 representa essa divisão. Para se alcançar a “Interoperabilidade” e o “Intercâmbio de dados” todas as funcionalidades de interação da norma IEC TR 62390 são necessários. Para se alcançar o “Interfuncionamento” é necessária a **Análise do tipo de dados**, o **Acesso aos dados**, a **Interface de comunicação** e os **Protocolos de comunicação**. Para a “Interconexão” deve ser possível o **Acesso aos dados**, a **Interface de Comunicação** e os **Protocolos de comunicação**. Por fim, para existir a “Coexistência” de comunicação, apenas a funcionalidade de interação **Protocolos de comunicação** é necessária (HEER et al., 2017).

Figura 15 – Graus de compatibilidade entre Componentes I4.0



Fonte: Adaptado de Heer et al. (2017)

Com a interação alcançando os graus de Interoperabilidade e Interconexão de dados da norma IEC TR 62390, novas padrões devem existir. O padrão de projeto de *software* que melhor atende às demandas atuais para esse tipo de interação é a SOA (*Services Oriented Architecture*).

2.6.1 SOA (*Service Oriented Architecture*)

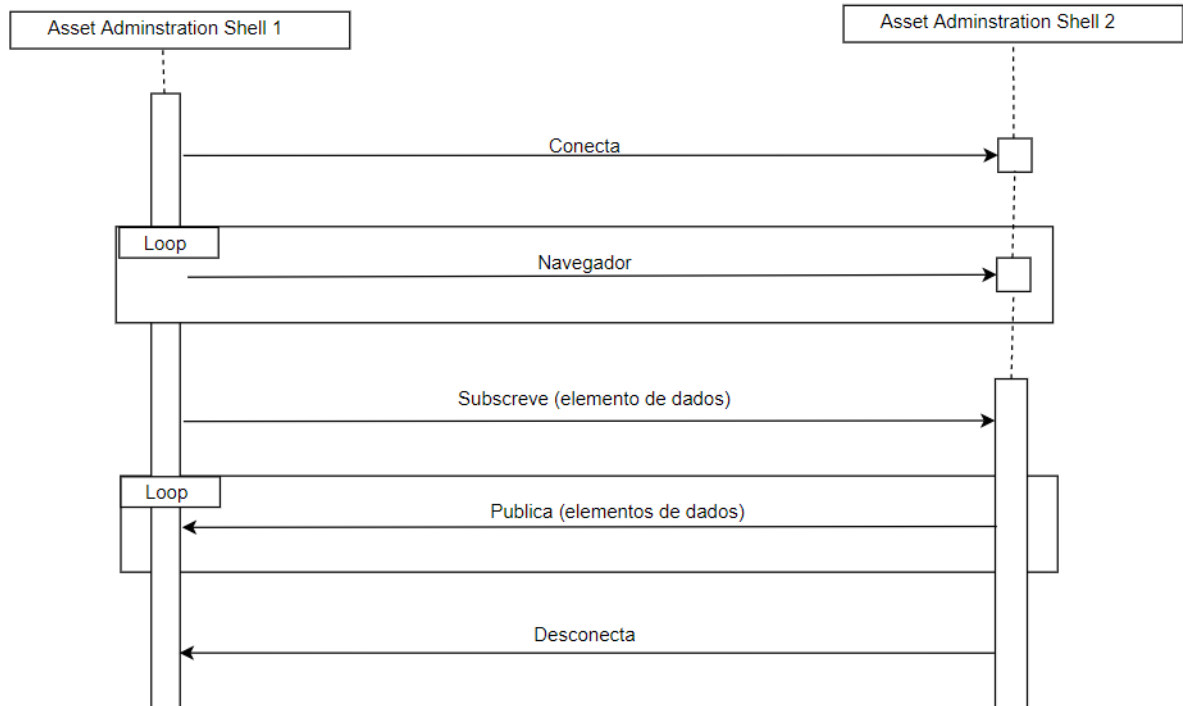
SOA pode ser compreendida como a arquitetura capaz de suportar a criação e o crescimento de serviços digitais reutilizáveis e interligar todos sob demanda. Consegue, a partir disso, disponibilizar os recursos para todos os clientes de forma independente e padronizada. Atualmente são desenvolvidas com soluções baseadas principalmente em *Web* (WS - *Web Services*) (PISCHING, 2017).

Os WS definem uma interface uniforme que contém um conjunto de operações *Web* e o protocolo HTTP (*HyperText Transfer Protocol*). Essas operações são identificadas e oferecem endereçamentos globais para descoberta de serviços e recursos (PISCHING, 2017). Os WS conseguem a interoperabilidade entre sistemas *webs* por meio de mensagens de solicitação e resposta.

Um exemplo de como poderia ocorrer a interação entre Componentes I4.0 por meio de WS é ilustrado na Figura 16. Neste exemplo, a partir da autenticação e validação de todos os dados que podem ser passados de um Componente I4.0 para outro, inicia-se a conexão do “*Asset Administration Shell 1*” com o “*Asset Administration Shell 2*”. Esses Componentes I4.0 trocam as informações e habilitam a interação; o “*Asset Administration Shell 1*” subscreve os elementos de dados para alteração de informações e comandos; os elementos de dados de cada Componente I4.0 são publicados; e no final o “*Asset Administration Shell 2*” desconecta-se (BEDENBENDER et al., 2017b).

SOA no contexto desse trabalho define como os serviços devem funcionar para que Componentes I4.0 consigam interagir um com outro. Entretanto, as comunicações entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma empresa (integração vertical) ou entre Componentes I4.0 de empresas distintas (integração horizontal) exigem abordagens diferentes.

Figura 16 – Interação entre *Asset Administration Shells* baseados em Web Services



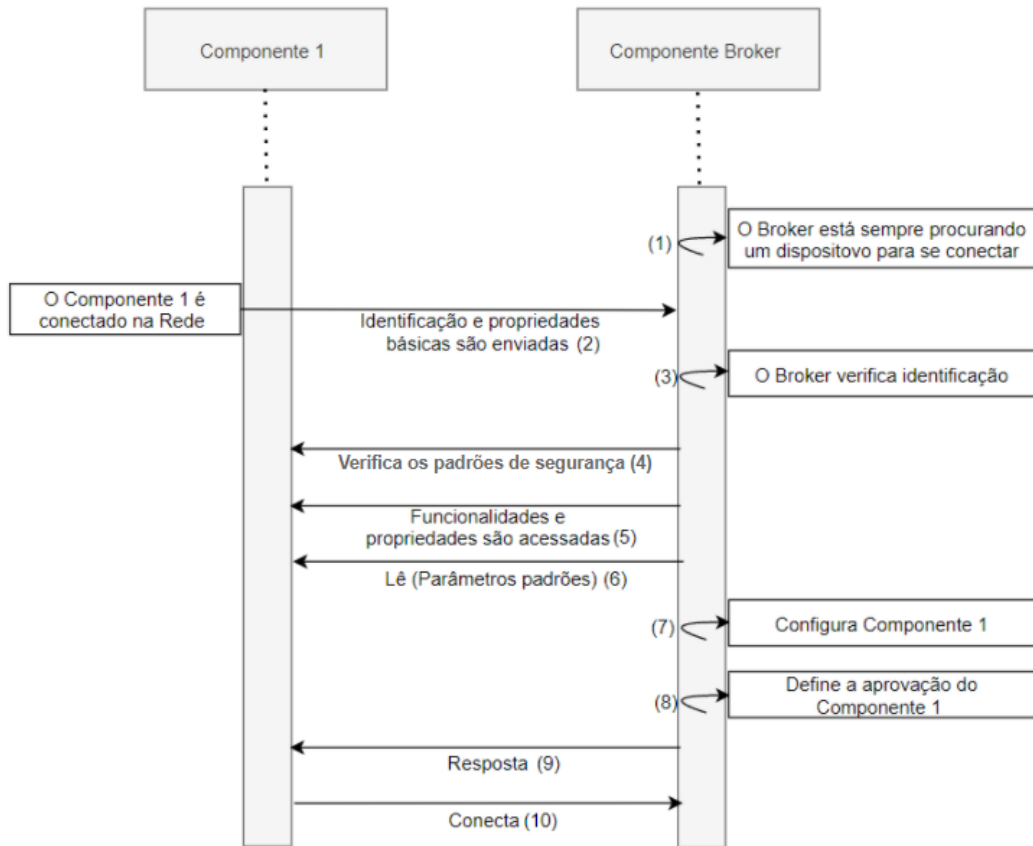
Fonte: Adaptado de Bedenbender et al. (2017b)

2.7 Descoberta de Componentes I4.0

Para que a interação entre Componentes I4.0 seja possível, certos Componentes I4.0 necessitam gerenciar e disponibilizar as informações de todos os demais Componentes I4.0 (HEER et al., 2017). Esses Componentes I4.0, que nesse trabalho são definidos como **Componentes Brokers**, possuem chaves de segurança, permissões de acesso para diversos outros ativos e necessitam disponibilizar as informações dos ativos da Empresa.

As informações presentes no **Componente Broker** são enviadas a partir da descoberta dos Componentes I4.0, descrita em Bedenbender et al. (2017b). Quando instalados e conectados na rede de comunicação, cada Componente I4.0 envia seu IP (*Internet Protocol*), suas propriedades e funcionalidades para o **Componente Broker**, criando um banco de dados com a identificação, propriedades e funcionalidades de todos os Componentes I4.0 presentes na Empresa. Essa representação é definida na Figura 17, onde as numerações de 1 até 10 definem os procedimentos para que o “Componente 1” seja descoberto pelo **Componente Broker**, conectado, configurado conforme as definições apropriadas e aprovado para acesso dentro da empresa pelo **Componente Broker** e todas as suas informações sejam armazenadas para posterior consulta de outros Componentes I4.0.

Figura 17 – Descoberta de Componentes I4.0 e armazenamento de informações no *Componente Broker*



Fonte: Adaptado de Bedenbender et al. (2017b)

As seções 2.8 e 2.9 definem a interação entre Componentes I4.0 dentro de uma empresa e a interação entre Componentes I4.0 de empresas distintas. Nesses casos, considera-se que a atividade de descoberta dos Componentes I4.0 já foi realizada e cada empresa possui seu próprio **Componente Broker**.

2.8 Comunicação entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma empresa

A comunicação entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma empresa integra todos os ativos que foram descobertos pelo **Componente Broker** de sua respectiva empresa e assim conseguem solicitar um serviço para outro Componente I4.0.

A interação passo a passo entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma empresa está ilustrada na Figura 18 e pode ser explicada a seguir:

- (I) um serviço qualquer é enviado para um Componente I4.0 (Cliente);

(II) O Componente I4.0 (Cliente) precisa saber todos os ativos que podem atender ao serviço solicitado; essas informações estão presentes no **Componente Broker** (JIANG, 2018);

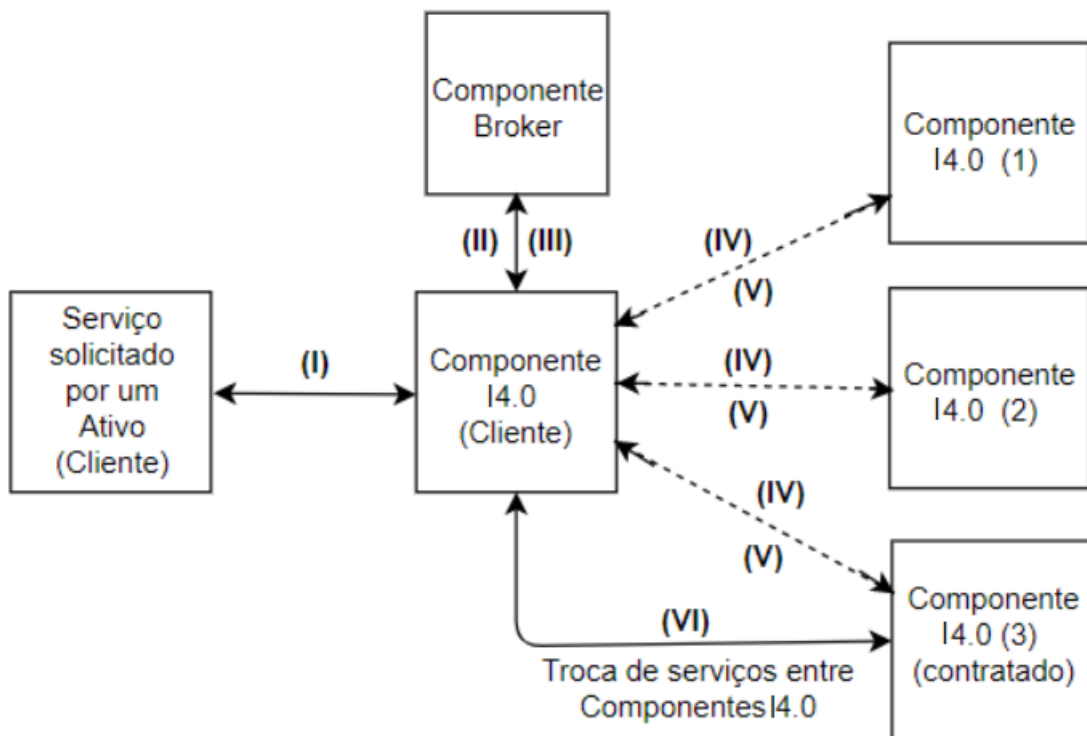
(III) O **Componente Broker**, conforme dados armazenados em seu banco de dados, define os Componentes I4.0 que mais se aproximam do serviço solicitado pelo Componente I4.0 (Cliente). O **Componente Broker** envia uma lista com esses Componentes I4.0 e seus respectivos endereços (JIANG, 2018);

(IV) O Componente I4.0 (Cliente) se comunica diretamente com os Componentes I4.0 que estão na lista enviada pelo **Componente Broker**;

(V) Os Componentes I4.0 (1, 2 e 3), neste exemplo, disponibilizam suas informações para o Componente I4.0 (Cliente), como por exemplo, enviando como podem realizar o serviço solicitado;

(VI) O Componente I4.0 (Cliente) define, de acordo com os requisitos do serviço solicitado, o melhor Componente I4.0 que atende a demanda e se comunica diretamente com o “contratado” (“Componente 3”).

Figura 18 – Comunicação entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma empresa



Fonte: O autor

2.9 Comunicação entre Componentes I4.0 de empresas distintas

A comunicação entre Componentes I4.0 de empresas distintas é organizada de forma diferente. Isso se deve pois nesse tipo de interação o **Componente Broker** não possui as informações, disponibilidades e permissões dos Componentes I4.0 presentes em outras empresas (HEER et al., 2017). Diferente da interação dentro de uma mesma empresa, é necessário um **Componente Broker de negociação entre empresas** que funciona apenas para negociar e gerenciar a comunicação entre empresas.

A interação passo a passo está presente na Figura 19, baseado em Heer et al. (2017):

(I) Um serviço é solicitado para um Componente I4.0 (Cliente);

(II) O Componente I4.0 (Cliente) precisa saber todos os ativos e empresas que podem atender ao serviço solicitado; as informações dessas empresas estão presentes **Componente Broker de negociação entre empresas**;

(III) O **Componente Broker de negociação entre empresas** distribui as informações do problema para as empresas que podem realizar o serviço;

(IV) As empresas disponíveis 1, 2 e 3 que estão aptas enviam propostas para o **Componente Broker de negociação entre empresas**;

(V) O **Componente Broker de negociação entre empresas** transfere informações para o Componente I4.0 (Cliente);

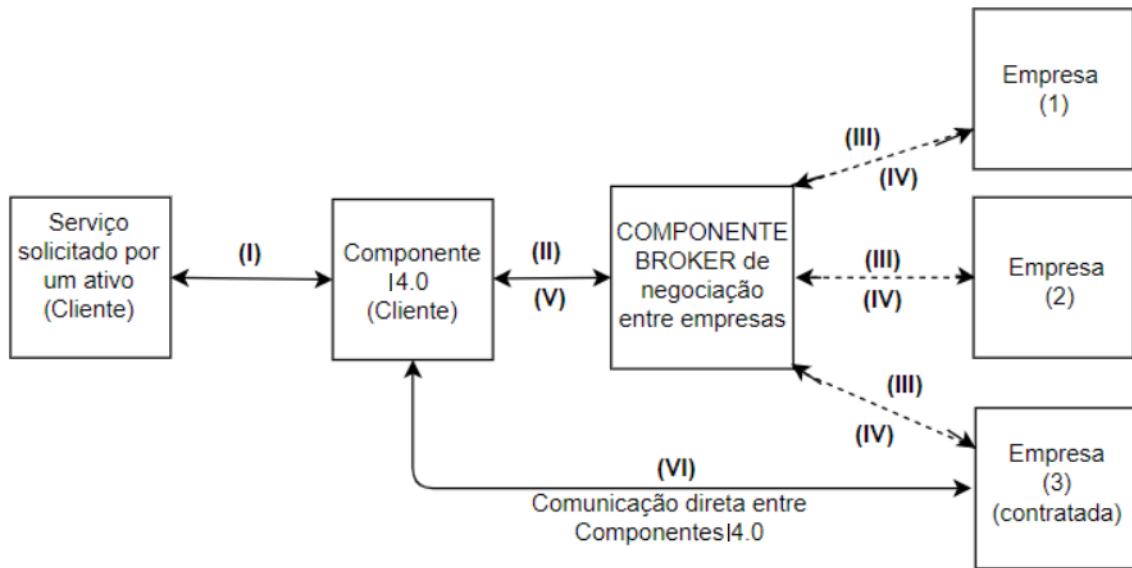
(VI) O Componente I4.0 (Cliente) define, de acordo com os requisitos do serviço solicitado, o Componente I4.0 para realização do serviço e se comunica diretamente com o “contratado”, que neste exemplo é o “Componente da Empresa 3”.

Uma configuração de como o **Componente Broker** pode atuar na comunicação entre empresas pode ser estendida para a Figura 20. Nela os **Componentes Brokers** de cada empresa interagem com o **Componente Broker de negociação entre empresas**, assim fornecendo as informações necessárias para que a comunicação entre Componentes I4.0 ocorra. Como representado na integração entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma empresa, o **Broker das Empresas 1, 2, 3 e 4** possuem informações de seus respectivos Componentes I4.0. O **Componente Broker de negociação entre empresas** apenas apresenta as informações dos serviços oferecidos pelas empresas. A numeração de 1 até 8 pode ser compreendida como:

(1) Serviço solicitado por um ativo;

(2) O Componente 1 envia informações para o **Componente Broker** da sua empresa;

Figura 19 – Comunicação entre Componentes I4.0 de empresas distintas



Fonte: Adaptado de Heer et al. (2017)

(3) O **Componente Broker da empresa 1** se comunica com o **Componente Broker de negociação entre empresas**;

(4) O **Componente Broker de negociação entre empresas** entra em contato com as empresas que podem realizar o serviço, que no caso são os **Componentes Brokers** das empresas 2, 3 e 4;

(5) O **Componente Broker** de cada empresa lista cada Componente I4.0 e suas funcionalidades para a realização do serviço e posteriormente envia essas informações para o **Componente Broker de negociação entre empresas**;

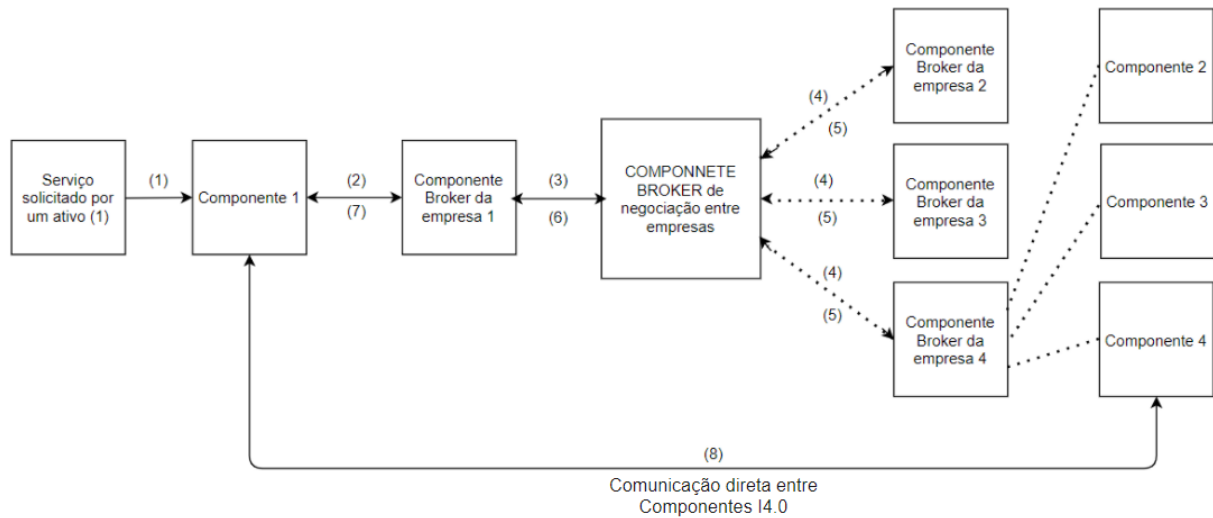
(6) O **Componente Broker de negociação entre empresas** descarta algumas empresas, de acordo com os requisitos do serviço solicitado, e seleciona outras para o envio para o **Componente Broker** da empresa 1 para decisão;

(7) O **Componente Broker da empresa 1** envia as informações para o Componente 1;

(8) O Componente 1 entra em contato diretamente com um ou mais Componentes da Empresa escolhida; no caso da Figura 20 a empresa que melhor atendeu os requisitos para a realização do serviço foi a empresa 4 e apenas um Componente foi definido para interação, no caso o Componente 4.

Para o prosseguimento do texto é adotada a Figura 18 como exemplo para a comunicação entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma Empresa e a Figura 20 para interação entre Componentes I4.0 de empresas distintas.

Figura 20 – Interação completa entre Componentes I4.0 de empresas distintas



Fonte: O autor, 2020

2.10 Modelagem e Análise de Sistemas

Os sistemas de comunicação digital são vistos como uma classe de sistemas a eventos discretos (MIYAGI, 2001) e as Figuras 21 e 22, ilustram exatamente a natureza de interação entre elementos do sistema via a manutenção de estados (do sistema) que são alterados quando da ocorrência de eventos discretos. Assim, pode-se aplicar técnicas de modelagem e análise formal como a rede de Petri para verificação e validação dos processos modelados (ADAM; ATLURI; HUANG, 1998). Baseado em trabalhos anteriores sobre metodologias de projeto de sistemas e construção de modelos de processos se considera neste trabalho a aplicação da metodologia PFS/Rede de Petri (MIYAGI; VILLANI; MARUYAMA, 2001). Isto é, para a descrição conceitual dos processos se utiliza o PFS (*Production Flow Schema*) e, a partir desses modelos, deriva-se uma descrição mais detalhada (funcional) dos processos em modelos em rede de Petri.

2.10.1 *Production Flow Schema* (PFS)

O PFS é uma técnica de grafo interpretado conceitual aplicado na fase inicial da modelagem de sistemas (JUNQUEIRA; MIYAGI, 2009). Tem a função de sistematizar a modelagem voltada para processos produtivos (SILVA et al., 2015). Com o PFS é possível fazer a

representação do fluxo de variados itens como: informações, objetos, dados e etc. (HASEGAWA et al., 1999).

Para o maior entendimento do PFS, na Figura 21 está a representação dos seus elementos, definidos como: “atividade”, representa a ação que deve ocorrer; “distribuidor”, componente passivo que define os estados possíveis entre “atividades” relacionadas; e “arco orientado”, define a interação entre “atividades” e “distribuidores”.

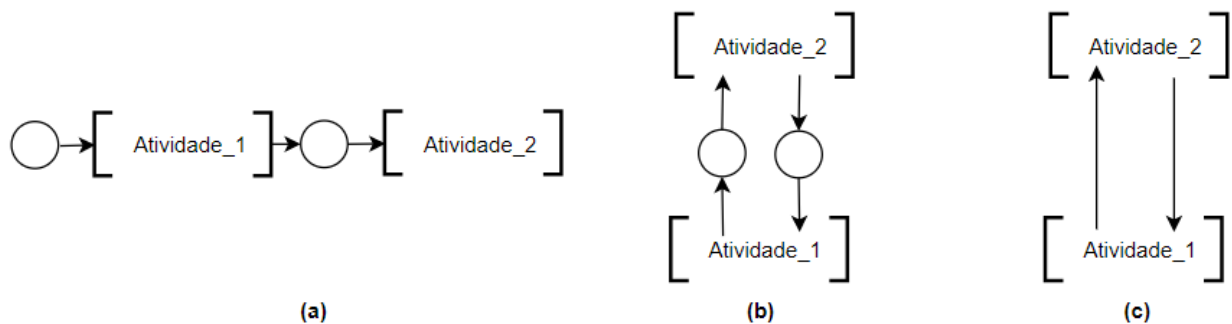
Figura 21 – Elementos do PFS



Fonte: Adaptado de Pisching et al. (2018b)

A interação entre os fluxos pode ocorrer como: **Fluxo primário** na Figura 22 (a), que é uma sequência linear de “atividades”; **Fluxo secundário** na Figura 22 (b), representa a troca de informações entre duas “atividades”; e **Fluxo terciário** na Figura 22 (c), que consiste na fusão de transições, ou seja na junção de duas transições em apenas uma interface, e normalmente são associados a operações de solicitação e resposta de diferentes estruturas (MIYAGI, 2001).

Figura 22 – Fluxos para PFS



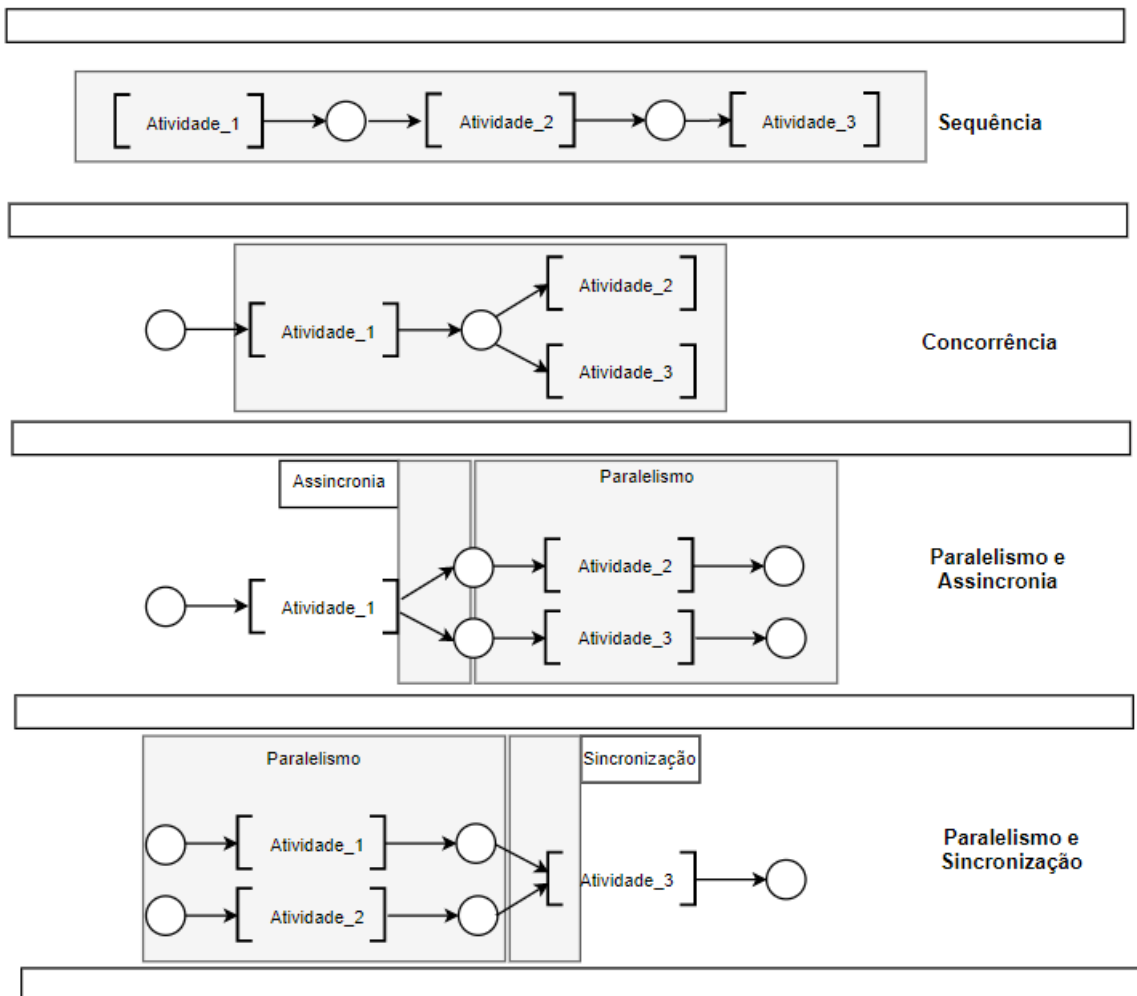
Fonte: Adaptado de Pisching et al. (2018b)

Para especificação dos fluxos entre “atividades” é necessário entender as estruturas dos fluxos e suas respectivas representações no PFS (MIYAGI, 2001).

Essas estruturas dos fluxos são definidos como: (1) **Sequência**: indica uma ordem no acontecimento das “atividades”, no qual uma “atividade” para acontecer necessita que outra “atividade” tenha terminado; (2) **Concorrência**: indica que partindo de uma “atividade” específica, o prosseguimento dos processos pode ocorrer de duas ou mais formas diferentes; (3) **Paralelismo**

e **Assincronia**: estrutura onde “atividades” podem ser executadas ao mesmo tempo sem que uma “atividade” interfira na execução da outra; e (4) **Paralelismo e Sincronização**: de forma contrária ao **Paralelismo e Assincronia**, essa estrutura é iniciada no Paralelismo e termina em um processo em que dois ou mais eventos devem ocorrer concomitantemente para que uma “atividade” possa ser habilitada. Essas representações são observadas na Figura 23.

Figura 23 – Estrutura dos fluxos de itens em modelos PFS



Fonte: O autor

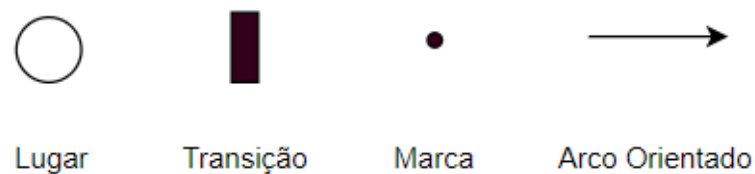
2.10.2 Rede de Petri (RdP)

Rede de Petri (RdP) é uma técnica com representação matemática e gráfica que tem o objetivo de modelar, analisar, validar Sistemas a Evento Discretos (SEDs) (ADAM; ATLURI; HUANG, 1998).

Os elementos pertencentes à classe de rede de Petri, conhecida como ordinária, estão exemplificados na Figura 24, onde: o “Lugar” (elemento passivo) representa um estado a ser realizado; a “Transição” (elemento ativo) representa um evento; o “Arco orientado” representa a relação “Lugar” e “Transição”; e a “Marca” representa uma possível situação do sistema, isto é, a existência ou não de “marca” num “Lugar” indica o *status* do estado (descrito pelo “Lugar”) do sistema.

A rede de Petri modela a parte dinâmica do processo/sistema, isto é, a partir da alteração das “marcas” é possível chegar a um novo estado/“atividade”. Essas alterações ocorrem a partir do “disparo” das “transições”.

Figura 24 – Elementos da Rede de Petri



Fonte: O autor

2.10.3 Verificação e validação de processos/sistemas

Processos podem ser verificados e validados por meio de modelos formais como a RdP. Isto é, de acordo com a metodologia PFS/Rede de Petri (HASEGAWA et al., 1999) (MIYAGI; VILLANI; MARUYAMA, 2001), o processo, objeto de estudo, é inicialmente representado no nível conceitual em modelos PFS. Sendo que aqui já ocorre um primeiro nível de verificação, pois o modelo em PFS deve identificar a estrutura geral do sistema e dos processos envolvidos, os principais componentes e fluxos de itens.

Depois, com base num procedimento de detalhamento funcional das “atividades” do modelo em PFS, deriva-se modelos em RdP e se tem outro nível de verificação. Neste caso, com base nas propriedades da RdP, tem-se condições de avaliar aspectos estruturais do modelo assim como aspectos comportamentais do processo modelado.

No presente projeto se considera o uso de uma ferramenta para edição de modelos em RdP como o PIPE 4.3, que identifica certas propriedades estruturais do modelo em RdP e que também tem recursos para a simulação da evolução das “marcações” no modelo. Estes recursos, assim como os experimentos simulados são assim utilizados para verificar e validar as soluções

desenvolvidas (BANKS, 1998). Segundo Chung (2003), a validação do modelo por simulação é levantada como um dos critérios mais importantes para a consolidação do sistema.

2.11 Síntese do Capítulo

O capítulo 2 descreve os principais conceitos na literatura para que seja possível realizar os objetivos descritos no capítulo 1.

As seções de 2.1 a 2.6 definem os conceitos para atingir os objetivos (1) e (2). As seções 2.7, 2.8 e 2.9 descrevem, inicialmente, como será realizado o objetivo (3).

A partir do capítulo 3 é considerado que a descoberta dos Componentes I4.0 (seção 2.7) já foi estabelecida. Ou seja, as informações de cada Componente I4.0 já estão armazenadas no **Componente Broker**. O objetivo (3) é finalizado no capítulo 3, em que é proposto o mapeamento das “Capacidades dos Serviços” no eixo Camadas do RAMI 4.0, considerando os dois cenários descritos nas seções 2.8 e 2.9.

A seção 2.10 descreve os meios para que o objetivo (4) seja alcançado. Dessa forma, será possível criar, verificar e validar os modelos que definam a interação M2M dentro de uma mesma empresa (seção 2.8) e entre empresas distintas (seção 2.9).

3 Proposta de mapeamento entre RAMI 4.0 e a arquitetura para interação M2M (ETSI)

O RAMI 4.0 é um modelo de arquitetura de referência, portanto as funções atreladas, principalmente para cada nível do eixo Camadas, não especificam como ocorre a interação M2M. Nesse contexto, as arquiteturas desenvolvidas para M2M, como o ETSI, focam na efetiva realização e controle desta interação. Assim, para a implantação da interação M2M na Indústria 4.0 deve-se atrelar as funções presentes na arquitetura ETSI dentro do RAMI 4.0, isto é, em cada um dos níveis do eixo de Camadas.

O nível de “Regra de Negócio” é usado para a interação M2M entre Empresas. Isto é, para definir permissões e habilitações de serviços de cada empresa. No caso da interação M2M dentro de uma mesma empresa, essas permissões e habilitações já estão estabelecidas em fases anteriores à comunicação.

O escopo de desenvolvimento da M2M-ETSI é evidentemente distinto do caso do RAMI 4.0, além do que os desafios em cada caso, em especial no momento de elaboração das propostas eram totalmente diferentes. Assim a Tabela 3 apresenta os principais elementos de uma interação M2M e uma comparação entre como eles são tratados no M2M-ETSI e no RAMI 4.0.

Tabela 3 – Comparação entre M2M-ETSI e RAMI 4.0

Elementos	M2M-ETSI-2	RAMI 4.0
Dispositivos Físicos	Domínio dos dispositivos	Ativos
Relação entre Físico e Virtual	Não especificado diretamente; possui propriedades básicas nas Capacidades dos Serviços do Gateway e do Dispositivo	Integração
Sistemas de Comunicação em Rede	Domínio de rede e Capacidade dos Serviços	Comunicação
Armazenamento e processamento de dados	Capacidade dos Serviços	Informação
Acesso a funções e Aplicações	Capacidade dos Serviços e Domínio de Aplicação	Funcional

Fonte: O autor, 2020

3.1 Capacidade dos Serviços e Asset Administration Shell

A arquitetura ETSI-M2M possui as “Capacidades dos Serviços”, ou seja, um conjunto de funções que possibilitam que um dispositivo tenha os requisitos mínimos para se comunicar com outro dispositivo. Elas descrevem características particulares, entre elas, as funcionalidades individuais ou gerais existentes no sistema e principalmente os dispositivos que cada uma é responsável.

Na Indústria 4.0 o *Asset Administration Shell* compreende todas as funcionalidades e propriedades dos ativos. Elas são descritas como a parte digital do Componente I4.0 e engloba todos os ativos da Empresa.

A “Capacidade dos Serviços” possui funcionalidades que podem ser incorporadas no *Asset Administration Shell*. A relação entre ambas envolve as informações que cada uma deve conter e que é descrita a seguir:

“Capacidade dos Serviços do Dispositivo” e “*Asset Administration Shell* Centrado em Componentes” - Contêm as informações do próprio Componente I4.0. Gerencia as suas próprias aplicações e características particulares;

“Capacidade dos Serviços da Rede” e “*Asset Administration Shell Central*” - Contêm as informações de diversos Componentes I4.0. Está ligada ao **Componente Broker**, é um serviço auxiliar dos próprios Componentes I4.0;

“Capacidade dos Serviços do *Gateway*” e “*Asset Administration Shell Central*” - Gerencia os dispositivos dentro de uma rede local de comunicação. Comporta-se como sendo um “*Asset Administration Shell Central*” para gerenciar essa rede.

A “Capacidade dos Serviços do *Gateway*” representa os dispositivos que são legados e não possuem a “Capacidade dos Serviços do Dispositivo”. Nesse caso os ativos não possuem um *Asset Administration Shell* específico e são geridos pelo *Gateway* (localizado no nível de Integração do RAMI 4.0), ou seja, são ativos que não conseguem se comunicar com outros Componentes I4.0 e não têm o OPC-UA, definido como padrão para a interação vertical na Indústria 4.0.

No contexto da Indústria 4.0 é considerado que todos os ativos possuam um *Asset Administration Shell* individual. Nesse caso a “Capacidade dos Serviços do *Gateway*” não se enquadra no escopo dos Componentes I4.0 e não serão usados no decorrer do texto.

Para implementar a interação M2M na Indústria 4.0, é necessário inicialmente mapear todas as funções da “Capacidade dos Serviços” em Componentes I4.0, isto é nos respectivos *Asset Administration Shells*.

3.2 Funções da Capacidade do Serviços no RAMI 4.0

Com base no mapeamento da “Capacidade dos Serviços” em Componentes I4.0, isto é nos respectivos *Asset Administration Shells* desses componentes, o passo seguinte para implementar a interação M2M na I4.0 envolve necessariamente o mapeamento de todas as funções correspondentes às “Capacidades de Serviços”, apresentadas na Figura 7, nos diversos níveis do eixo Camadas do RAMI4.0

A única exceção é a função **Broker de compensação**, descrita na subseção 2.1.2, que por suas características de intermediar a comunicação M2M, quando direcionada para a Indústria 4.0 deve ser compreendida como o **Componente Broker** e **Componente Broker de negociação entre empresas**. Sendo assim, ela tem a função de intermediar e providenciar suporte e informações aos outros Componentes I4.0, já que o **Componente Broker** e o **Componente Broker de negociação entre empresas** também são Componentes I4.0 com funções específicas.

O mapeamento de cada função da “Capacidade dos Serviços” no RAMI 4.0 é apresentado na Figura 25. Para identificação das funções, é criada uma numeração para serem referenciadas nos capítulos 4 e 5. A explicação de cada uma em seu devido nível é descrito a seguir:

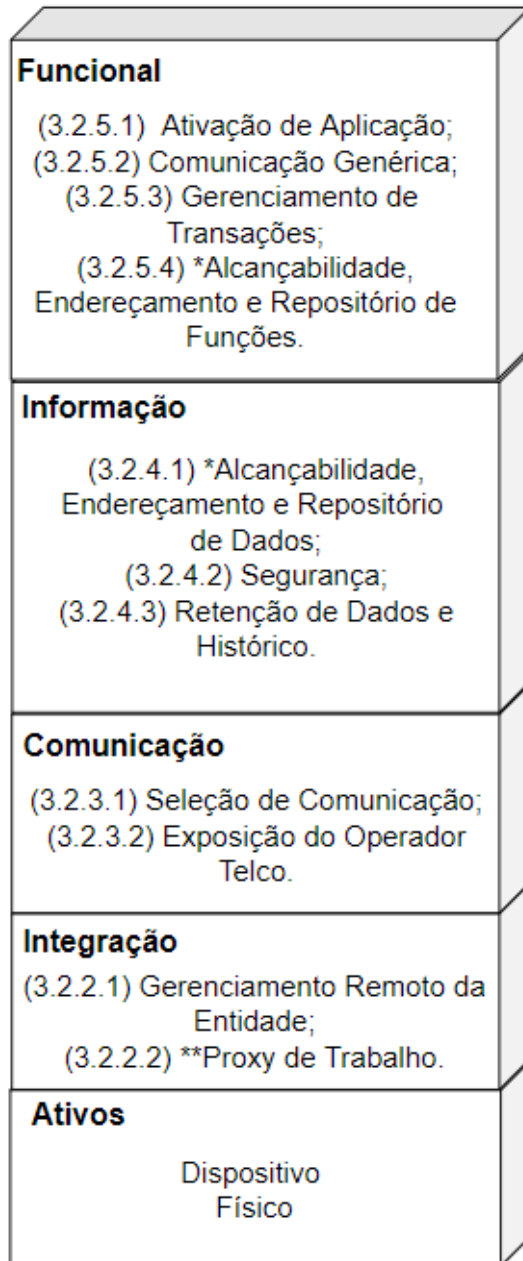
3.2.1 Ativos

Os dispositivos físicos na arquitetura M2M-ETSI são descritas exclusivamente por dispositivos. No RAMI 4.0 esses dispositivos abrangem máquinas, dispositivos de campo, dispositivos de controle, o produto, *softwares*, documentos e pessoas ou ainda, de forma genérica, ativos com importância para a empresa, físicos ou não.

3.2.2 Integração

(3.2.2.1) Gerenciamento Remoto da Entidade: Tem a função de coletar informações das mudanças físicas nos Componentes I4.0, converter os informações digitais para aplicações físicas, além de configurar, atualizar e gerenciar falhas na conexão do dispositivo;

Figura 25 – Funções das “Capacidades dos Serviços” M2M-ETSI mapeadas no eixo Camadas do RAMI 4.0



Fonte: O autor

(3.2.2.2) ****Proxy de trabalho**¹: Função realizada pelo *Gateway* para unir dispositivos que não são Componentes I4.0. No caso de todos os Componentes I4.0 estarem integrados na rede local de comunicação sem a necessidade do *Gateway*, o ****Proxy de trabalho** não é considerado no prosseguimento do texto por ser uma função para Componentes legados, ou seja, não pertencentes aos Componentes I4.0.

3.2.3 Comunicação

(3.2.3.1) **Seleção de Comunicação**: Função que define o caminho apropriado para que uma interação entre dispositivos dentro de uma mesma empresa, ou seja autenticados e com tempo para o término da comunicação e funções pré definidas, consigam trocar informações um para outro via OPC-UA;

(3.2.3.2) **Exposição do Operador Telco**: Função que fornece os recursos para que uma interação que tenha ocorrido no nível de “Comunicação” consiga acessar os dispositivos dentro do nível de “Integração”, ou vice versa.

3.2.4 Informação

(3.2.4.1) ***Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**²: Função de armazenagem, busca e disponibilização de informações individuais de cada Ativo (“*Asset Administration Shell Centrada em Componentes*”), e busca e disponibilização de informações dos ativos que estão presentes no **Componente Broker** (“*Asset Administration Shell Central*”);

(3.2.4.2) **Segurança**: Funções necessárias para proteger os dados armazenados, fornecer confiabilidade, autenticidade, integridade e confidencialidade às informações;

(3.2.4.3) **Retenção de dados e Histórico**: Função para reter informações de outros dispositivos, como por exemplo o **Componente Broker**, que armazena essas informações para gerenciar a negociação entre Componentes I4.0.

¹ ** Função não considerada no prosseguimento do trabalho por não atender as demandas da Indústria 4.0.

² * representa a função M2M desmembrada para auxiliar na integração nos níveis do RAMI 4.0.

3.2.5 Funcional

(3.2.5.1) Ativação da Aplicação: Função que define quais procedimentos devem ser tomados a partir de um questionamento, como por exemplo a definição de um Componente I4.0 para interagir. Tem ainda o papel de oferecer segurança, autenticação e autorização nas aplicações;

(3.2.5.2) Comunicação Genérica: Função que negocia mecanismos de segurança entre *Asset Administration Shells* diferentes; além disso é o ponto inicial de contato desses *Asset Administration Shells*;

(3.2.5.3) Gerenciamento de Transações: Função de negociação entre os Componentes I4.0. Nesse contexto, o Componente I4.0 envia mensagens para vários destinatários, coleta as respostas e os próprios Componentes I4.0 definem a finalização da negociação. Um exemplo para essa função seria no **Componente Broker** ao enviar e receber mensagens para diversos Componentes I4.0;

(3.2.5.4) *Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções: Função que atualiza, deleta e cria as funcionalidades específicas de cada Componente I4.0 (“*Asset Administration Shell Centrada em Componentes*”) e atualiza, deleta e cria funcionalidades para interação dos Componentes I4.0 a partir de um “*Asset Administration Shell Central*”.

3.3 Interação M2M-ETSI no RAMI 4.0

Esta seção apresenta um procedimento para assegurar na prática da interação M2M no contexto da I4.0 de acordo com o mapeamento desenvolvido nas seções anteriores.

A interação M2M na Indústria 4.0 pode ocorrer dentro de uma mesma empresa ou entre empresas. A interação dentro de uma mesma empresa ocorre a partir de permissões e autorizações já estabelecidas e, portanto, assume-se que necessitem de menos cuidados com segurança. A interação M2M entre empresas, além de maior segurança, necessita que as empresas preservem dados confidenciais e habilitem permissões de acesso para determinadas informações.

Por esse motivo, cada interação é realizada de forma diferente considerando que essas interações devem ser devidamente especificadas nos níveis do eixo Camadas do RAMI 4.0.

Em ambas interações M2M, deve-se assegurar a interoperabilidade e o intercâmbio de dados. Esse processo ocorre por meio de permissões, chaves de confiança e perfis de segurança,

negociados por um **Componente Broker**, considerado um Componente I4.0 com funções específicas de gerenciar as interações entre ativos. A diferença está em como essas funções são estabelecidas em cada tipo de interação.

Fazendo um paralelo com a arquitetura ETSI, as funções das “Capacidades dos Serviços da Rede” estão presentes no **Componente Broker**, são responsáveis por gerenciar e visualizar todos os ativos da Indústria 4.0. O *Asset Administration Shell* do **Componente Broker** neste trabalho é o “*Asset Administration Shell Central*”.

3.3.1 Interação M2M dentro de uma mesma empresa

A Interação M2M dentro de uma mesma empresa ocorre orientada por três partes distintas:

Parte (1) Solicitação do serviço pelo Componente I4.0 para o **Componente Broker**; e o **Componente Broker** retorna uma lista com os possíveis Componentes I4.0 para a resolução do problema;

Parte (2) O Componente I4.0 solicitante entra em contato diretamente com os Componentes I4.0 requisitados e analisa quais deles podem realizar o serviço de forma mais eficiente;

Parte (3) O Componente I4.0 solicitante define o Componente I4.0 que melhor atende a sua demanda. Esses Componentes I4.0 se comunicam no nível “Funcional” e realizam a troca de informações que se espera da interação entre eles, incluindo o tempo de execução e serviços a serem realizados. Após todos os ajustes e solicitações serem cumpridas, a interação desce para o nível de “Comunicação” do eixo Camadas do RAMI 4.0, onde o serviço solicitado passa a ser efetuado.

As interações M2M dentro de uma mesma empresa no contexto da Indústria 4.0 estão ilustradas nas Figuras 26, 27 e 28 e são iniciadas quando uma máquina necessita que outra máquina realize um serviço, como por exemplo a fabricação de uma peça, e o passo a passo é explicado a seguir:

I - Na Figura 26, com a solicitação de um serviço, o **Componente 1** transforma as informações adquiridas no mundo físico em informações digitais no nível de “Integração”, utiliza protocolos padrões da Indústria 4.0 no nível de “Comunicação”, e interage com o nível de “Informação” para extração, armazenamento e processamento de dados e utiliza as informações necessárias para a interação com o **Componente Broker** pelo nível “Funcional”;

II - Os dados enviados pelo **Componente 1** para o **Componente Broker** são encaminhados para o nível de “Informação”, onde são listados os Componentes I4.0 que atendem os requisitos necessários para interação. Um exemplo que poderia ser aplicado seria um produto procurando as possíveis máquinas para realização da usinagem, ou poderia ser também a informação de quais ativos conseguiriam fabricar melhores produtos com propriedades mecânicas específicas;

III - As informações são enviadas para o nível “Funcional” com a listagem dos serviços e endereços de cada Componente I4.0 apto e disponível. A partir disso, esses dados são direcionados para o **Componente 1**.

IV - Na Figura 27 as informações são disponibilizadas para o nível de “Informação” e retornam para o nível “Funcional” para a interação com os Componentes I4.0 aptos;

V - O **Componente 1** entra em contato diretamente com todos os Componentes I4.0 presentes na lista, que neste exemplo são os **Componentes 2, 3 e 4**. Toda essa interação ocorre pelo nível “Funcional”;

VI - Os **Componentes 2, 3 e 4** acessam seus níveis de “Informação” e disponibilizam propostas de resolução do serviço, como por exemplo a dimensão dos produtos que podem ser fabricados com características próximas dos requisitos, ou um conjunto de propriedades mecânicas dos materiais que esse Ativo pode assegurar para um produto;

VII - Com as propostas já disponibilizadas no nível “Funcional” dos **Componentes 2, 3 e 4**, todas essas informações são enviadas para o **Componente 1**. A definição do Componente I4.0 para a interação ocorre no nível “Funcional” do **Componente 1**. Essa escolha depende das especificações retornadas por cada Componente I4.0 e como elas se enquadram no requisitos do serviço solicitado. Por exemplo, se as dimensões do produto atribuídas pelo **Componente 4** e as propriedades mecânicas estiverem de acordo com as necessidades da requisição do **Componente 1**, ele será escolhido para o serviço e a partir disso ocorre o detalhamento da operação. A Figura 28 ilustra o caso onde o Componente I4.0 escolhido para o serviço foi o **Componente 4**;

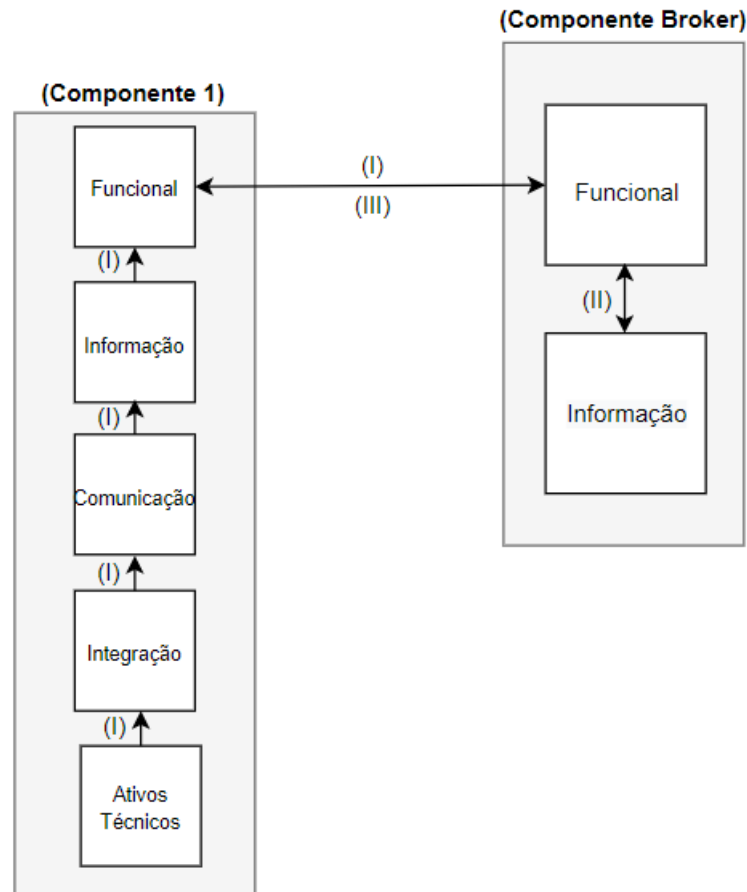
VIII, VIII-a, VIII-b - A interação primeiramente ocorre no nível “Funcional”. Nessa fase são acertados os serviços, princípios de segurança e permissões com as informações disponibilizadas no nível de “Informação”, tanto em VII-a quanto em VII-b;

IX - Com todo os detalhes do que deve ser realizado entre os Componentes I4.0, nesse estágio a interação vai para o nível de “Comunicação”;

X, X-a, X-b - A interação entre os **Componentes 1 e 4** agora ocorre no nível de “Comunicação”. O **Componente 1** se conecta com o **Componente 4** e passa todas informações e

configurações necessárias. Nessa etapa tudo o que foi negociado nos níveis anteriores é manufaturado no mundo físico. Ou seja, o produto com as dimensões necessárias ou com as propriedades mecânicas específicas é manufaturado.

Figura 26 – Interação *Machine to Machine* dentro de uma mesma empresa (parte 1/3)

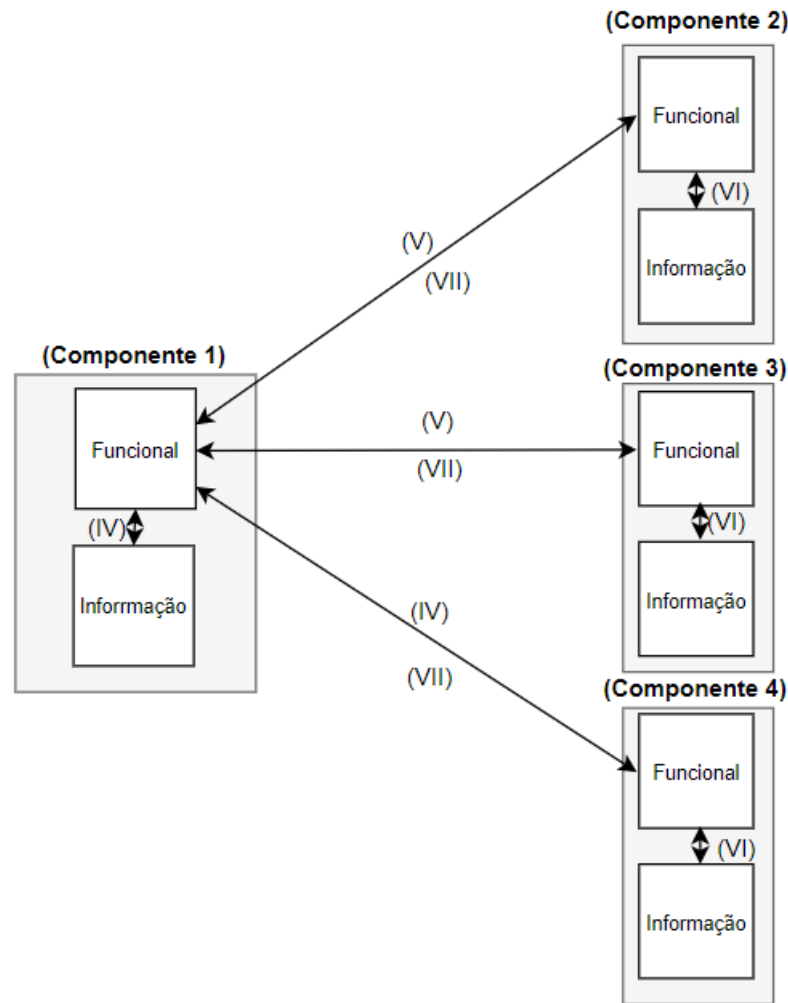


Fonte: O autor

3.3.2 Interação M2M entre Empresas

A interação M2M entre Empresas deve assegurar que as informações confidenciais de cada empresa sejam preservadas. Para isso as permissões de acesso são limitadas para cada tipo de interação. Essas permissões são realizadas por meio da “Regra de Negócio” de cada Empresa, que definem os critérios para que um serviço possa ser efetuado. O **Componente Broker de negociação entre empresas**, nesse caso, tem o papel de negociar a interação, coletar as informações e direcionar essas informações para o Componente I4.0 que solicitou o serviço.

Figura 27 – Interação *Machine to Machine* dentro de uma mesma empresa (parte 2/3)



Fonte: O autor

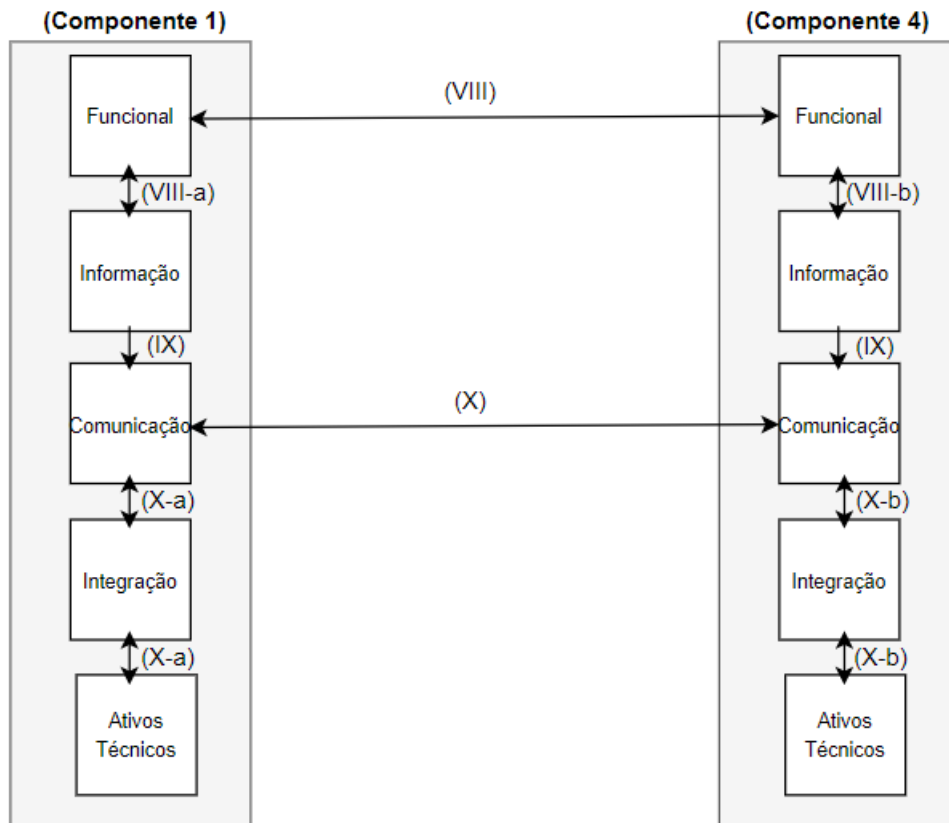
Após a definição da Empresa e dos Componentes I4.0 apropriados e disponíveis, os ativos de cada Empresa conseguem se comunicar diretamente, sem a necessidade do **Componente Broker**. O tempo de conexão, as permissões de acesso e todas as solicitações e serviços que podem ser realizados devem ser negociados nessa fase.

A interação M2M entre empresas, ou seja a integração horizontal, ocorre **somente pelo nível “Funcional”**. Segundo Adolphs et al. (2015), as restrições impostas pela segurança dos dados é neste caso muito mais rigorosa e necessita que a interação entre Componentes I4.0 entre empresas diferentes, ocorram somente no nível “Funcional”.

Para ilustrar as interações, as etapas são organizadas em três partes, onde:

Parte (1) Representa a negociação entre o Componente I4.0, os **Componentes Brokers** de cada empresa e o **Componente Broker de negociação entre Empresas**;

Figura 28 – Interação *Machine to Machine* dentro de uma mesma empresa (parte 3/3)



Fonte: O autor

Parte (2) Interação entre o Componente I4.0 que solicitou o serviço e os Componentes I4.0 que melhor atenderam sua demanda;

Parte (3) Definição do Componente I4.0 que melhor se adequa ao serviço, seguido da interação direta com esse Componente I4.0 e realização do serviço.

As interações M2M entre Empresas no contexto da Indústria 4.0 também são iniciadas quando uma máquina necessita que outra máquina realize um serviço e estão listadas nas Figuras 29, 30 e 31. Na Figura 29:

I - Após mudanças no meio do **Ativo 1**, o sensor, no nível de “Ativos”, envia informações para os níveis superiores, começando por converter as mudanças ocorridas no meio físico em virtuais no nível de “Integração”, passando por protocolos padrões no nível de “Comunicação”, alcançando o nível de “Informação” para extração, armazenamento e processamento de dados e chegando ao nível “Funcional” para organização de funções para interação com o **Componente Broker de negociação entre empresas** também no nível “Funcional”;

II - No **Componente Broker da Empresa 1**, os dados enviados pelo **Componente 1** são direcionados para o nível de “Informação”, onde são disponibilizados os principais Componentes

I4.0 ou empresas que preenchem os requisitos necessários para interação. Se não existirem Componentes I4.0 aptos para a realização do serviço na empresa 1 (caso desse tópico), o serviço é enviado para o **Componente *Broker de negociação entre empresas*** para procurar empresas aptas;

III - O Componente *Broker Empresa 1* interage com o **Componente *Broker de negociação entre empresas*** no nível “Funcional”;

IV - No Componente *Broker de negociação entre empresas*, os dados enviados pelo **Componente 1 Empresa 1** são direcionados para o nível de “Informação”, onde são disponibilizados às Empresas que preenchem os requisitos necessários para a realização do serviço;

V - Com as informações disponibilizadas no nível “Funcional”, ocorre a interação do Componente *Broker de negociação entre empresas* com os Componentes *Brokers das Empresas 2, 3, 4* no nível “Funcional”, fornecendo os requisitos para interação criadas a partir do Componente 1 Empresa 1;

VI - Cada Componente *Broker* nessa fase busca as informações necessárias para preencher os requisitos definidos pelo **Componente 1**;

VII - Cada Componente *Broker* nesse estágio, necessita saber se o serviço solicitado pelo **Componente 1 Empresa 1** está dentro dos procedimentos e permissões estabelecidas por suas respectivas Empresas. Esse procedimento é realizado no nível de “Regra de Negócio”.

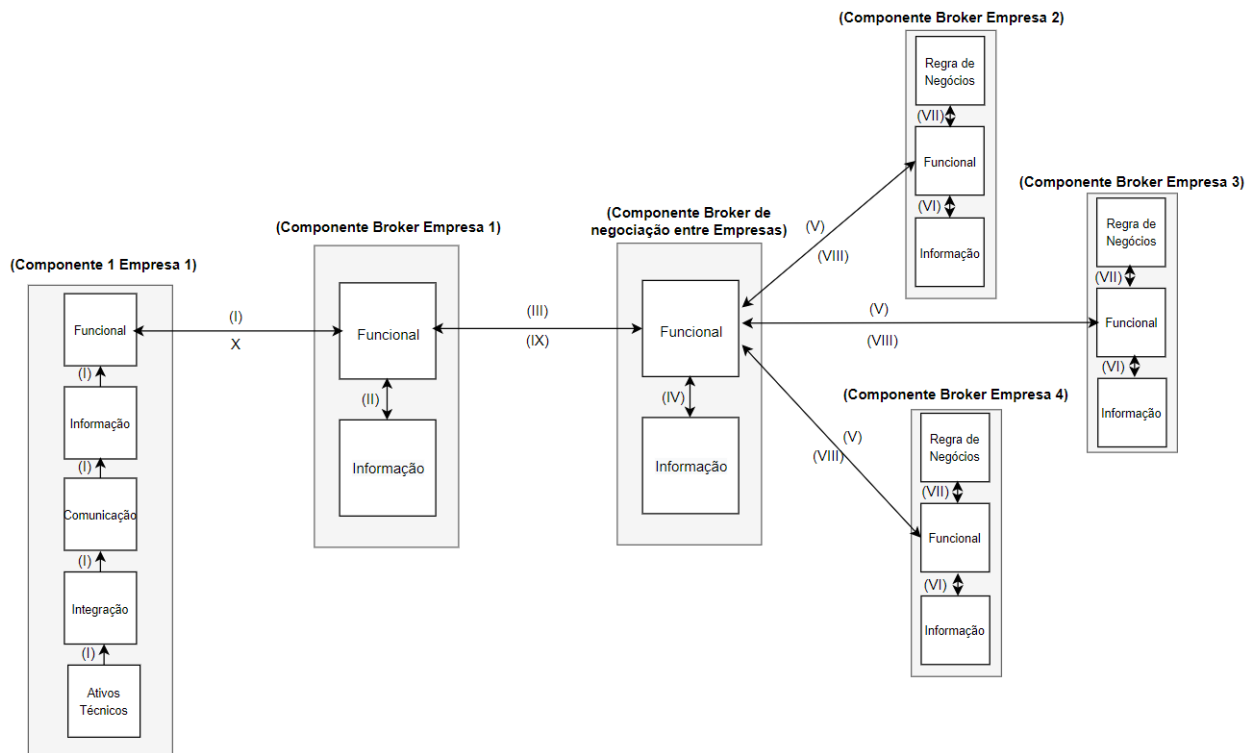
VIII - Os Componentes 2, 3 e 4 enviam as informações requisitadas para o **Componente *Broker de negociação entre empresas***, no nível “Funcional”;

IX - No Componente *Broker de negociação entre empresas*, as permissões (que tipo de informações devem ser passadas entre os Componentes I4.0), os níveis de confiança, os perfis de segurança e o tempo de interação de cada Componente I4.0 das Empresas são direcionados para o **Componente *Broker 1 Empresa 1*** no nível “Funcional”. Ainda, o **Componente *Broker de negociação entre empresas*** pode excluir os serviços de empresas que não estiveram minimamente no escopo do serviço solicitado pelo **Componente *Broker 1 Empresa 1***.

X - Cada Componente I4.0 envia como será realizado o serviço solicitado ao **Componente 1 Empresa 1** no nível “Funcional”. E o **Componente 1 Empresa 1** define qual Componente I4.0, de acordo com os requisitos solicitados, enquadra-se melhor para interação.

XI - Na Figura 30 as informações necessitam ser disponibilizadas e armazenadas no nível de “Informação” para posterior retorno ao nível “Funcional”, onde funções são criadas para a interação com os Componentes I4.0 aptos;

Figura 29 – Interação *Machine to Machine* entre Empresas (parte 1/3)



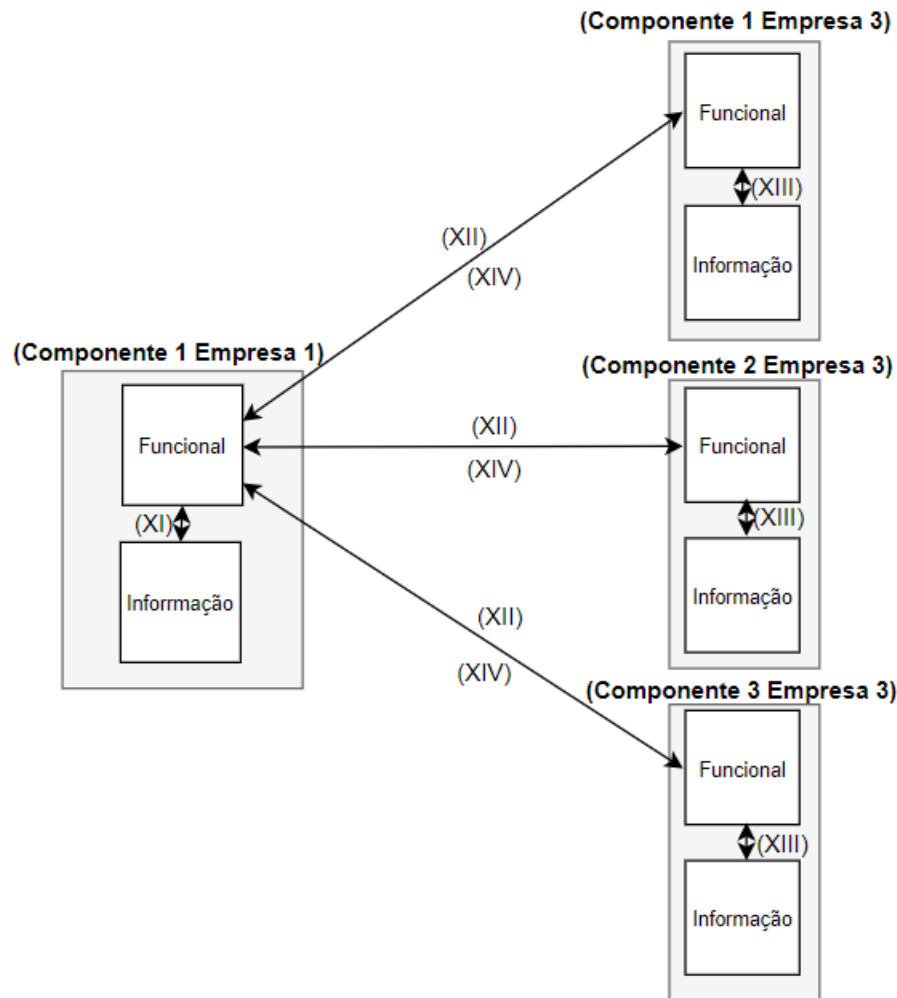
Fonte: O autor

XII - No nível “Funcional” do **Componente 1 Empresa 1** é definida a Empresa que melhor se adequa ao serviço solicitado. Com a Empresa definida, ocorre a interação com os Componentes I4.0 adequados, no caso **Componente 1 Empresa 3**, **Componente 2 Empresa 3** e **Componente 3 Empresa 3**;

XIII - Os Componentes I4.0 selecionados buscam no nível de “Informação” informações de como podem resolver o serviço solicitado e definem como podem solucionar esse serviço de acordo com seus sistemas;

XIV - A informação dos procedimentos adotados por cada Componente I4.0 é direcionada para o **Componente 1 Empresa 1**.

XV, XV-a, XV-b - Na Figura 31, com o **Componente 3 Empresa 3** definido para a interação, nesse estágio os Componentes I4.0 definem as características e soluções, como o tempo de execução e serviços a serem realizados. As informações são acessadas e disponibilizadas no nível de “Informação” de cada Componente I4.0, itens XI-a e XI-b; com isso todos os ajustes na negociação são definidos e a partir disso o serviço é realizado nos níveis inferiores do eixo Camadas do RAMI 4.0;

Figura 30 – Interação *Machine to Machine* entre Empresas (parte 2/3)

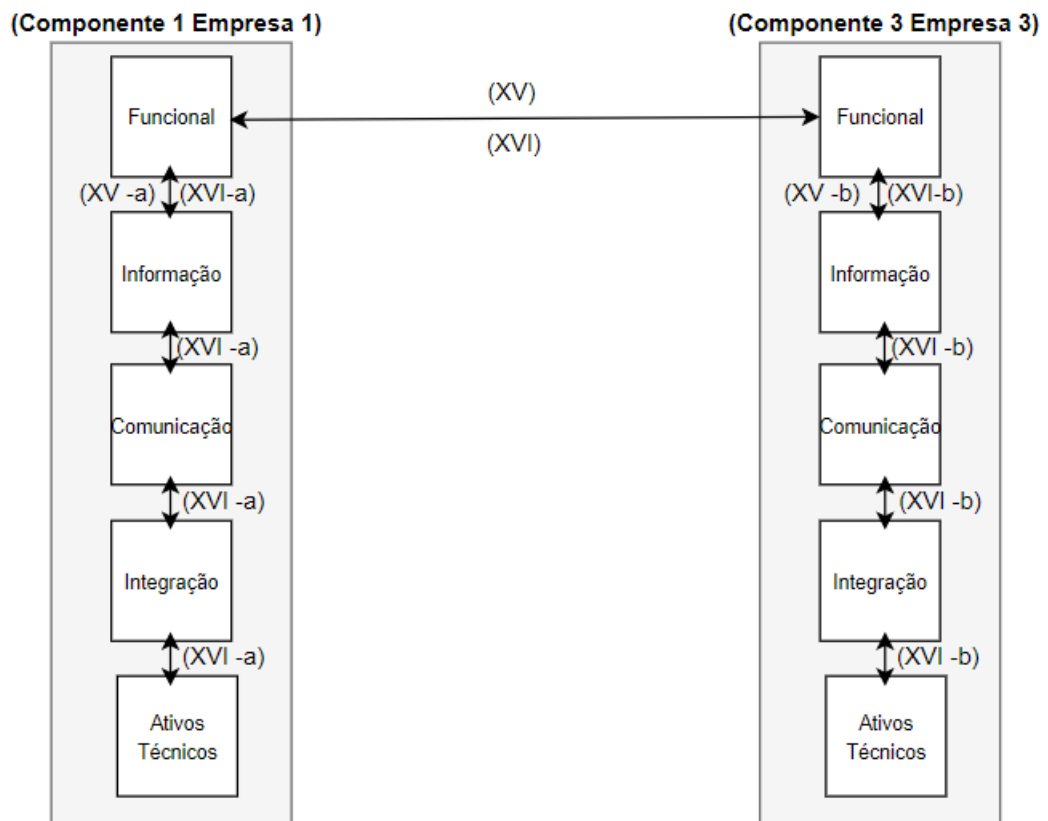
Fonte: O autor

XVI, XVI-a, XVI-b - A interação ocorre somente pelo nível “Funcional” entre os **Componentes 1 e 4**. O **Componente 1** se conecta com o **Componente 4** e passa todas as informações e configurações necessárias. Nessa etapa tudo o que foi negociado nos níveis anteriores é manufaturado no meio físico.

Uma explicação mais detalhada de como essa comunicação M2M ocorre entre Componentes I4.0 dentro de uma mesma Empresa e entre Empresas é descrita a seguir. Relacionando as funções da “Capacidade dos Serviços”, da Figura 25, com a interação M2M dentro de uma mesma empresa, Figuras 26, 27 e 28, e interação M2M entre empresas, Figuras 29, 30 e 31.

Este capítulo apresentou um procedimento para a interação M2M dentro do contexto da Indústria 4.0 com base no mapeamento das funções da “Capacidade dos Serviços” no eixo Camadas do RAMI 4.0. Nos capítulos seguintes este procedimento é modelado e analisado para verificação e validação dos resultados.

Figura 31 – Interação *Machine to Machine* entre Empresas (parte 3/3)



Fonte: O autor

4 Modelagem no nível conceitual da interação Machine to Machine com base na estrutura proposta

A modelagem é realizada a partir das funções da “Capacidade dos Serviços” mapeadas na Figura 25. Essas funções são representadas na interação M2M dentro da mesma empresa, nas Figuras 26, 27 e 28, e na interação M2M entre empresas distintas, Figuras 29, 30 e 31. Nesse sentido, a modelagem busca validar as estruturas desenvolvidas no Capítulo 3, apresentando o nível conceitual dos processos envolvidos.

As interações são baseadas em trocas de informações entre as funções da “Capacidade dos Serviços”. O tipo dessas informações pode variar conforme a função da “Capacidade dos Serviços”. Há funções que têm como objetivo transportar as informações entre níveis do eixo Camadas do RAMI 4.0 e entre Componentes I4.0. Outras funções têm como objetivo reunir informações para tratar casos específicos de um serviço (funções relacionadas com os níveis “Funcional” e “Informação”). Nem sempre as informações necessitam ser transportadas e/ou apenas utilizadas para um fim. Nesse caso as interações entre funções são baseadas em uso de informações.

A seguir são divididas as funções da “Capacidade dos Serviços” em relação às interações correspondentes:

Transporte de Informações: **Gerenciamento Remoto da Entidade, Exposição do operador Telco, Seleção da Comunicação, Gerenciamento de Transações e Comunicação Genérica;**

Utilização das Informações: **Retenção de dados e Histórico, Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados, Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções e Ativação da Aplicação.**

O PFS é a técnica utilizada para a modelagem e, por convenção e maior entendimento de cada processo, adota-se que:

- **Fluxo Primário e Fluxo Secundário** - Interações dentro dos níveis do eixo Camadas do RAMI 4.0;
- **Fluxo Terciário** - Interações entre Componentes I4.0 e entre os níveis do eixo Camadas do RAMI 4.0.

Seguindo o que foi ilustrado nas Figuras 26, 27, 28, 29, 30 e 31, cada tipo de interação é dividida em etapas. Para facilitar o entendimento de cada função elas também são citadas pela numeração correspondente ao Capítulo 3.

A partir desse capítulo as funções da “Capacidade dos Serviços” serão tratadas como atividades, de acordo com a nomenclatura definida na literatura para desenvolver modelos em PFS.

A numeração apresentada no modelos define a cronologia dos eventos. Nesse sentido as numerações internas aos Componentes I4.0 serão chamadas de interações internas, enquanto as interações entre os Componentes I4.0 serão denominadas apenas de interações.

4.1 Modelagem da Interação M2M dentro de uma Empresa

Nas Figuras 32, 33 e 34 são ilustrados os modelos para a interação M2M dentro de uma mesma empresa. São divididos de acordo com os procedimentos a serem realizados, definidos como: (1) Encontrar Componentes para atender a demanda; (2) Buscar informações dos Componentes I4.0 aptos; e (3) Definir que Componente I4.0 melhor atende os requisitos e interagir com esse Componente I4.0.

4.1.1 Encontrar Componentes I4.0 para atender a demanda

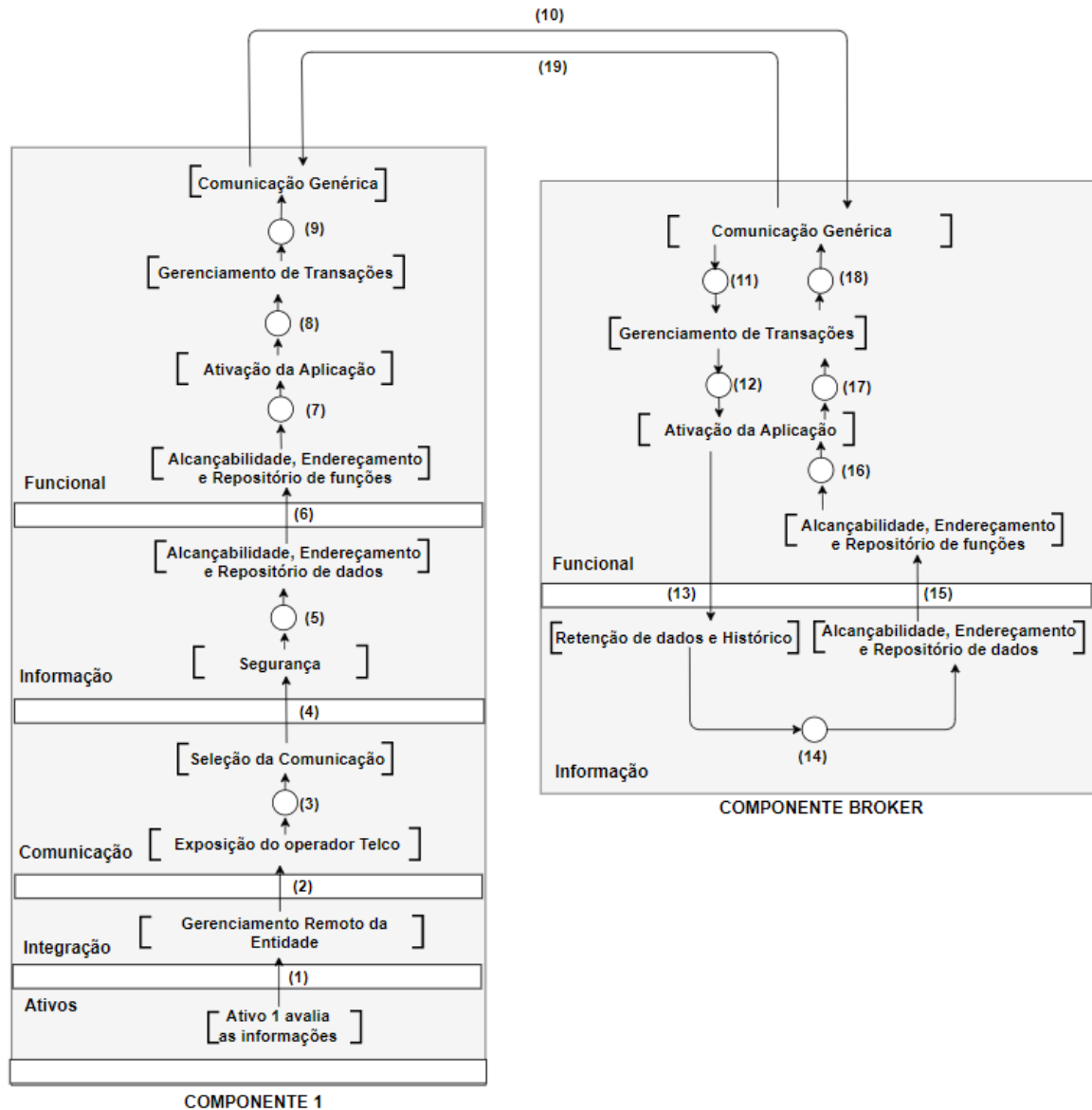
A abordagem dessa etapa é iniciada quando um ativo, definido como **Ativo 1**, necessita que uma máquina realize um serviço, como por exemplo a fabricação de uma peça, e envia informações para os níveis superiores do eixo Camadas do RAMI 4.0. Termina quando o **Componente Broker** retorna a informação para **Componente 1** com a lista dos Componentes I4.0 aptos.

Na Figura 32 está a interação entre o **Componente 1** e o **Componente Broker**. É definido nessa etapa um fluxo que é iniciado com a interação interna (1), quando o **Ativo 1** solicita um serviço a ser realizado, e termina na interação (19), quando o **Componente Broker** define os Componentes I4.0 que podem realizar o serviço solicitado.

Na [Ativação de Aplicação] (3.2.5.1) entre as interações internas (7) e (8) é definido, por meio das informações advindas do nível de “Informação”, quais requisitos os Componentes I4.0 devem ter para realizar o serviço solicitado pelo **Componente 1**.

Na [Ativação de Aplicação] (3.2.5.1) entre as interações internas (16) e (17) o **Componente Broker** define, por meio das informações advindas do nível de “Informação”, quais Componentes I4.0 na Empresa estão aptas para realizar o serviço solicitado.

Figura 32 – Encontrar Componentes I4.0 para atender a demanda



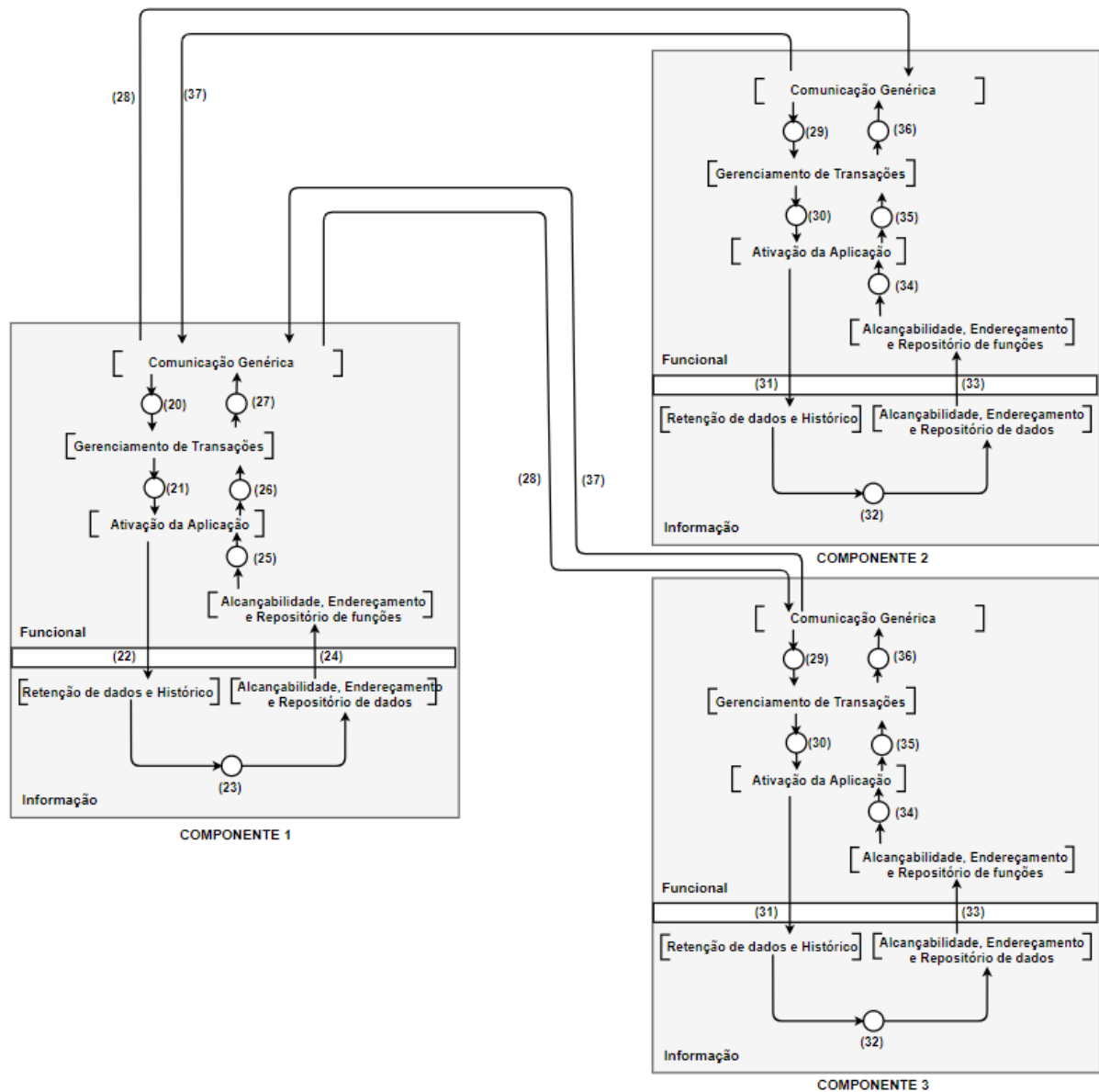
Fonte: O autor

4.1.2 Buscar informações dos Componentes I4.0 aptos

A segunda parte da comunicação corresponde à interação entre o **Componente 1** e os Componentes I4.0 listados pelo **Componente Broker**, que no caso do modelo da Figura 33 são os **Componentes 2 e 3**.

Seguindo um fluxo que é iniciada na interação interna (20), quando as informações sobre os Componentes I4.0 aptos são recolhidas no **[Gerenciamento de Transações]** (3.2.5.3), e terminam nas interações (37) dos **Componentes 2 e 3**, quando as novas informações do serviço a ser prestado são enviadas para o **Componente 1**.

Figura 33 – Buscar informações dos Componentes I4.0 aptos



Fonte: O autor

Na [Ativação de Aplicação] (3.2.5.1) entre as interações internas (25) e (26) novas solicitações especificando mais detalhes do serviço são criados e enviados aos Componentes I4.0 aptos, que no caso da Figura 33 são os **Componentes 2 e 3**.

Na [Ativação de Aplicação] (3.2.5.1) entre as interações internas (34) e (35), de cada um dos Componentes I4.0 consultados, uma lista contendo como cada Componente I4.0 pode cumprir os requisitos solicitados é criada, a partir de informações vindas do nível de “Informação”.

4.1.3 Determinar o melhor Componente I4.0 e interagir com ele

Com as informações do serviço que cada Componente I4.0 pode realizar, nessa etapa o **Componente 1** recebe as informações e define o Componente I4.0 que melhor se enquadra na prestação do serviço, iniciando diretamente uma comunicação com ele. A Figura 34 ilustra o passo a passo do processo.

Inicia na interação interna (38), onde o [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) coleta as informações advindas dos Componentes I4.0, e terminando na segunda etapa da interação no nível de “Comunicação”, quando o serviço é finalizado.

Os processos das interações **38-A até o 53-A** descrevem a primeira etapa de negociação pelo nível “Funcional” entre os Componentes I4.0.

A letra **A** é a forma de representar a primeira parte da interação. Nessa parte as configurações são ajustadas, portas de acesso são liberadas e todo o serviço a ser realizado é definido. A [**Ativação de Aplicação**] (3.2.5.1) em ambos Componentes I4.0 tem o papel de tomar decisões. Com o término da fase de negociação, a interação desce para os níveis inferiores por meio da interação (54).

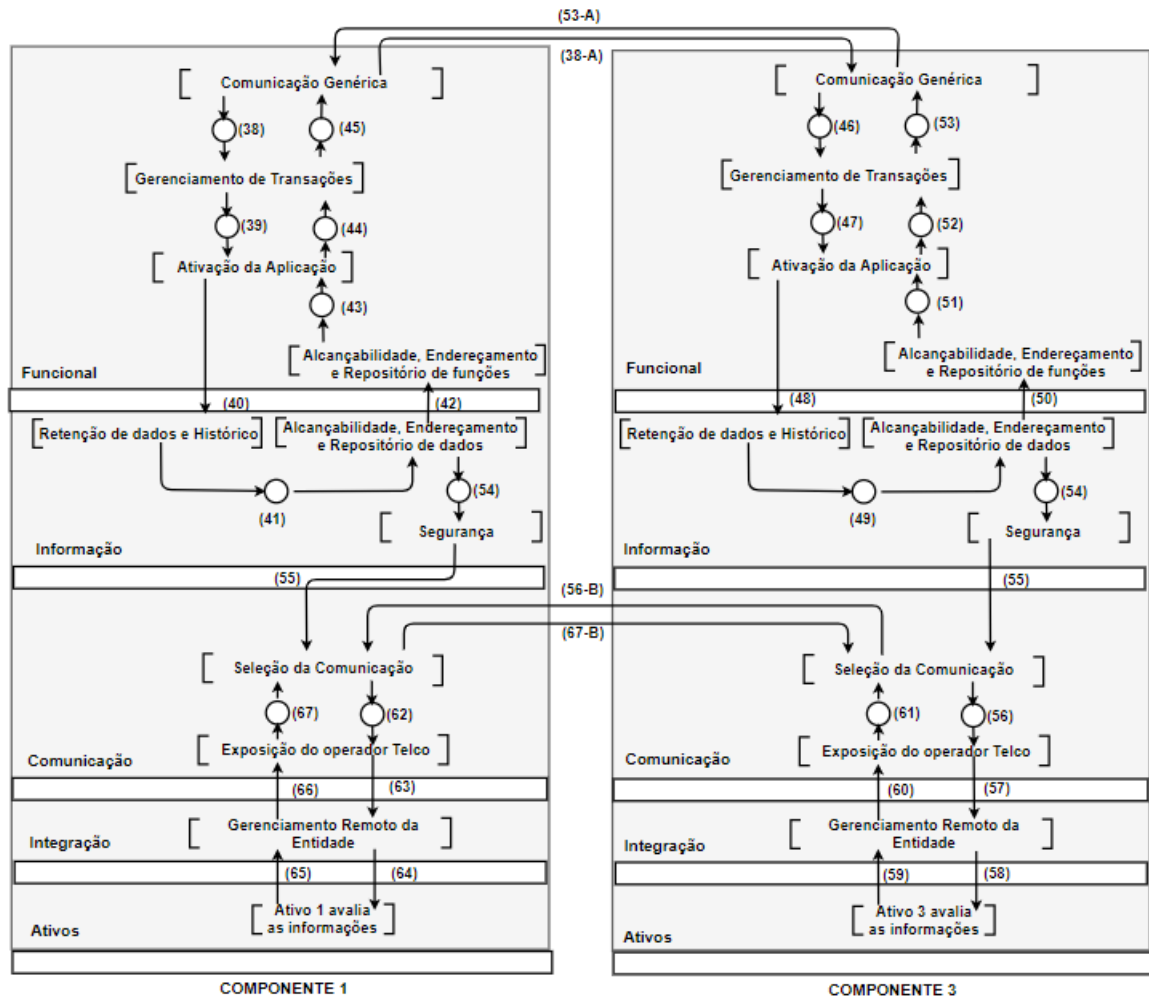
A segunda etapa da interação, compreendida entre as interações **56-B até o 67-B**, corresponde à realização do serviço de tudo o que foi negociado no nível “Funcional”. A letra **B** representa a segunda parte da interação pelo nível de “Comunicação”. Nessa etapa ambos Componentes I4.0 trocam informações para ajustar todas as configurações para o serviço ser realizado pelo **Componente 3** no nível de “Ativos”.

4.2 Modelagem da Interação M2M entre Empresas

Para facilitar o entendimento de cada processo da interação M2M entre Empresas, os modelos são divididos em três etapas, os quais são definidos como: (1) Procurar Componentes I4.0 aptos para uma demanda fora da Empresa; (2) Definir a Empresa para o serviço e buscar informações dos Componentes I4.0 aptos; e (3) Definir quem melhor atendeu os requisitos e interagir com esse Componente I4.0 somente pelo nível “Funcional”.

A primeira fase é uma alternativa a **4.1.1**, quando não é encontrado um Componente I4.0 apto dentro da própria empresa. As etapas subsequentes advêm dessa alternativa e diferem em

Figura 34 – Determinar o melhor Componente I4.0 e interagir com ele



Fonte: O autor

alguns pontos que serão explicados a seguir. Nas Figuras 35, 36 e 37 estão ilustradas os modelos da interação M2M entre Empresas.

4.2.1 Procurar Componentes I4.0 aptos para uma demanda fora da Empresa

A diferença entre as interações M2M dentro de uma mesma empresa e entre empresas distintas começam na **[Ativação da Aplicação] (3.2.5.1)** entre as interações internas (7) e (8) da Figura 35. Nesse caso, é identificado que não existe Componentes I4.0 aptos dentro da empresa para realizar o serviço solicitado e as informações sobre o que deve ser feito são enviados para o **Componente *Broker* de Negociação entre Empresas**.

Com as informações disponibilizadas pelo nível de “Informação” do **Componente *Broker* de Negociação entre Empresas**, a **[Ativação da Aplicação] (3.2.5.1)**, entre as interações

internas (16) e (17), define quais empresas podem realizar o serviço solicitado. No caso da Figura 35, as Empresas 2 e 3 estão aptas a realizar o serviço.

Na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) de cada empresa, entre as interações internas (25) e (26) são definidos quais Componentes I4.0 estão aptos dentro de cada empresa para realizar o serviço solicitado.

Na “Regra de Negócio” é definido se o serviço está de acordo com a normas ou exigências de cada Empresa. Nesses casos a Empresa pode [**Liberar a negociação**] ou [**Negar a negociação**].

A primeira parte termina quando as informações desses Componentes I4.0 aptos retornam para o **Componente 1 Empresa 1** na interação (49).

4.2.2 Definir a Empresa apta para o serviço e buscar informações dos Componentes I4.0 aptos

A Figura 36 ilustra a Empresa selecionada para a realização do serviço e a interação do **Componente 1 Empresa 1** com os Componentes I4.0 dessa Empresa.

É iniciada quando o [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) coleta as informações advindas de cada Empresa informando os Componente I4.0 aptos, na interação interna (50).

Com as informações disponibilizadas no nível de “Informação”, a [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1), entre as interações internas (55) e (56), define quais requisitos são necessários para a realização do serviço.

Os **Componentes 2 e 3** da Empresa 2 que atenderam aos requisitos solicitados pelo **Componente 1**, buscam informações para resolverem o serviço solicitado e definem quais dessas informações são relevantes na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1), entre as interações internas (64) e (65).

No final dessa etapa, a lista contendo todas as informações relevantes para o serviço ser realizado é enviado pela interação (67) por cada Componente I4.0.

4.2.3 Determinar o melhor Componente I4.0 e interagir com ele somente pelo nível Funcional

A próxima etapa é ilustrada na Figura 37. A partir dela há a definição do Componente I4.0 que mais se enquadra nos requisitos necessários para o **Componente 1 Empresa 1**.

Figura 35 – Procurar Componentes I4.0 aptos para uma demanda fora da Empresa

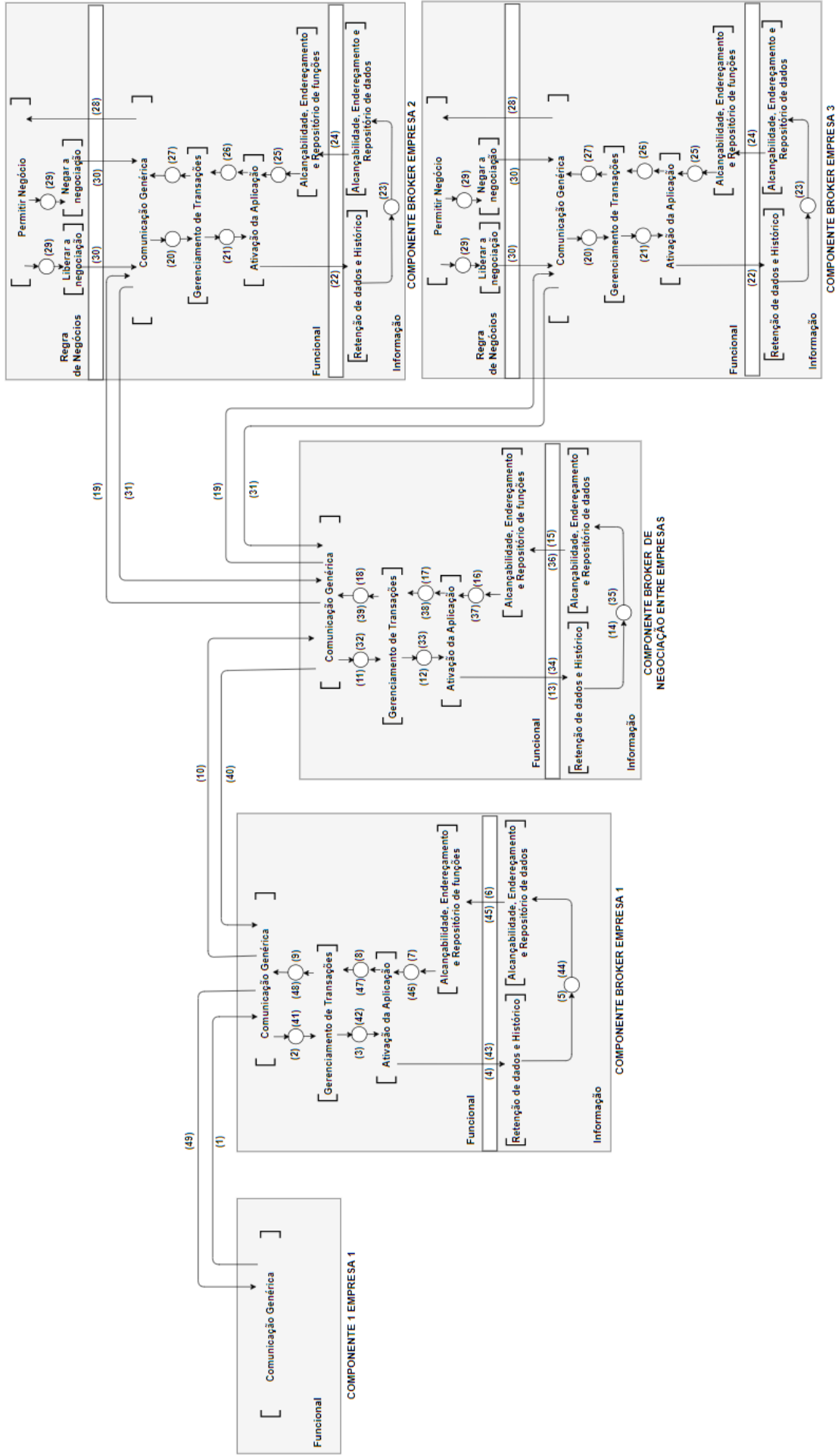
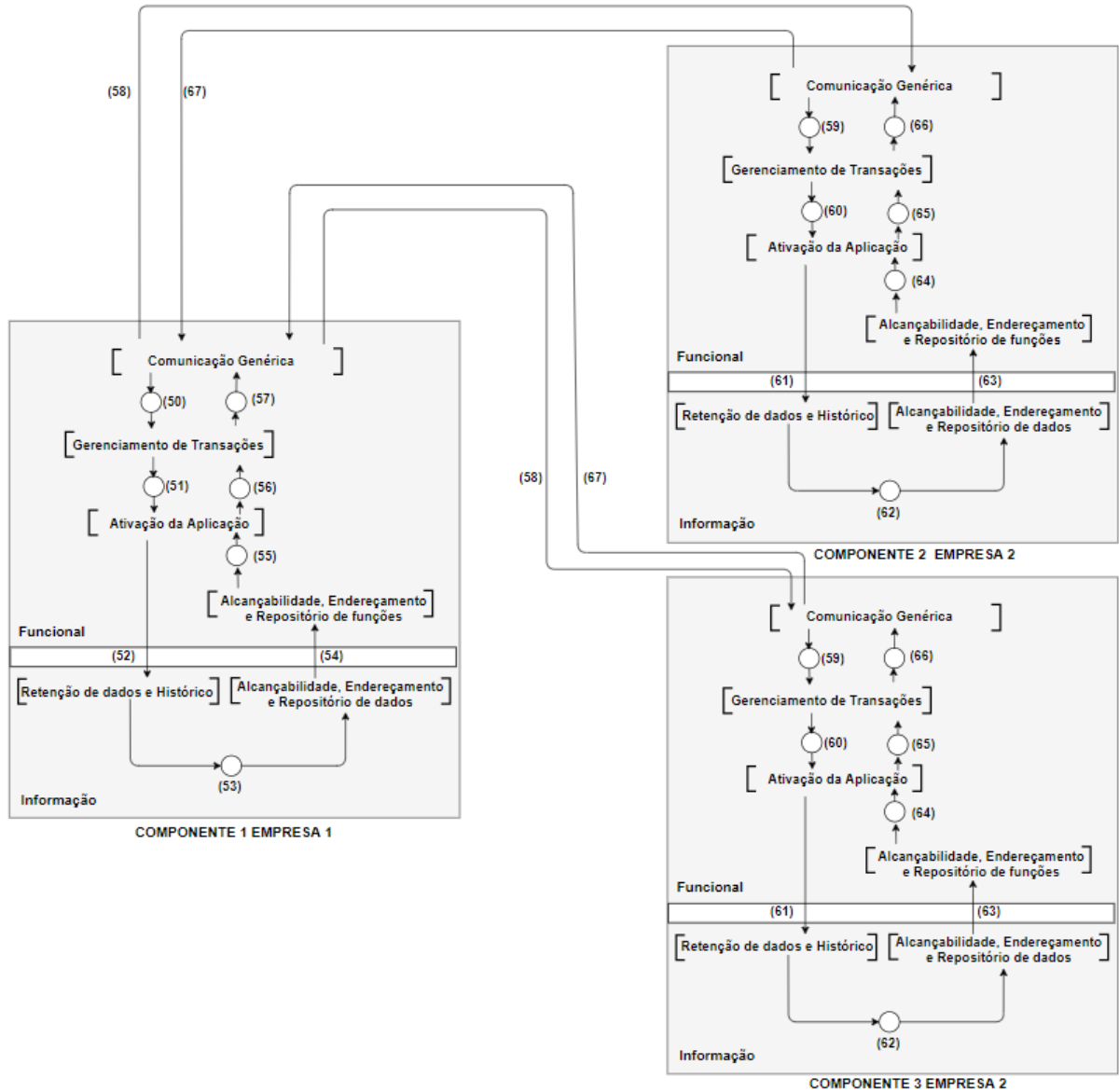


Figura 36 – Definir a Empresa apta para o serviço e buscar informações dos Componentes I4.0 aptos



Fonte: O autor

Entre as interações 68-A e 83-A ocorre a negociação de procedimentos e serviços a serem realizados antes que o serviço seja de fato iniciado.

É iniciada com a coleta de informações no [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3), na interação interna (68), advindas dos **Componentes 2 e 3** da Empresa 2. Na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) entre as interações internas (69) e (70) é definido qual Componente I4.0 atendeu melhor os requisitos solicitados, que no caso da Figura 37 foi o **Componente 2 Empresa 2**.

Na fase de negociação com as informações disponibilizadas no nível de “Informação”, a [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) tem o papel de tomar decisões caso seja solicitado em cada Componente I4.0. Com a fase de negociação finalizada, ajustes são realizados, configurações acionadas e portas de acesso liberadas.

A partir do momento que a interação interna (84) é acionada, a segunda etapa da interação é iniciada. Entre 84-B e 103-B ocorre a interação dos Componentes I4.0 com um cronograma de serviços já estabelecido na negociação. Essa interação ocorre apenas no nível “Funcional”. As mesmas Atividades estão presentes em ambos Componentes I4.0, contudo por apresentarem ordem cronológicas diferentes são representados com numerações diferentes.

Nessa segunda etapa tudo que foi negociado é realizado nos níveis inferiores do eixo Camadas do RAMI 4.0. Os ajustes necessários no **Componente 1 Empresa 1** e a realização do serviço pelo **Componente 2 Empresa 2**.

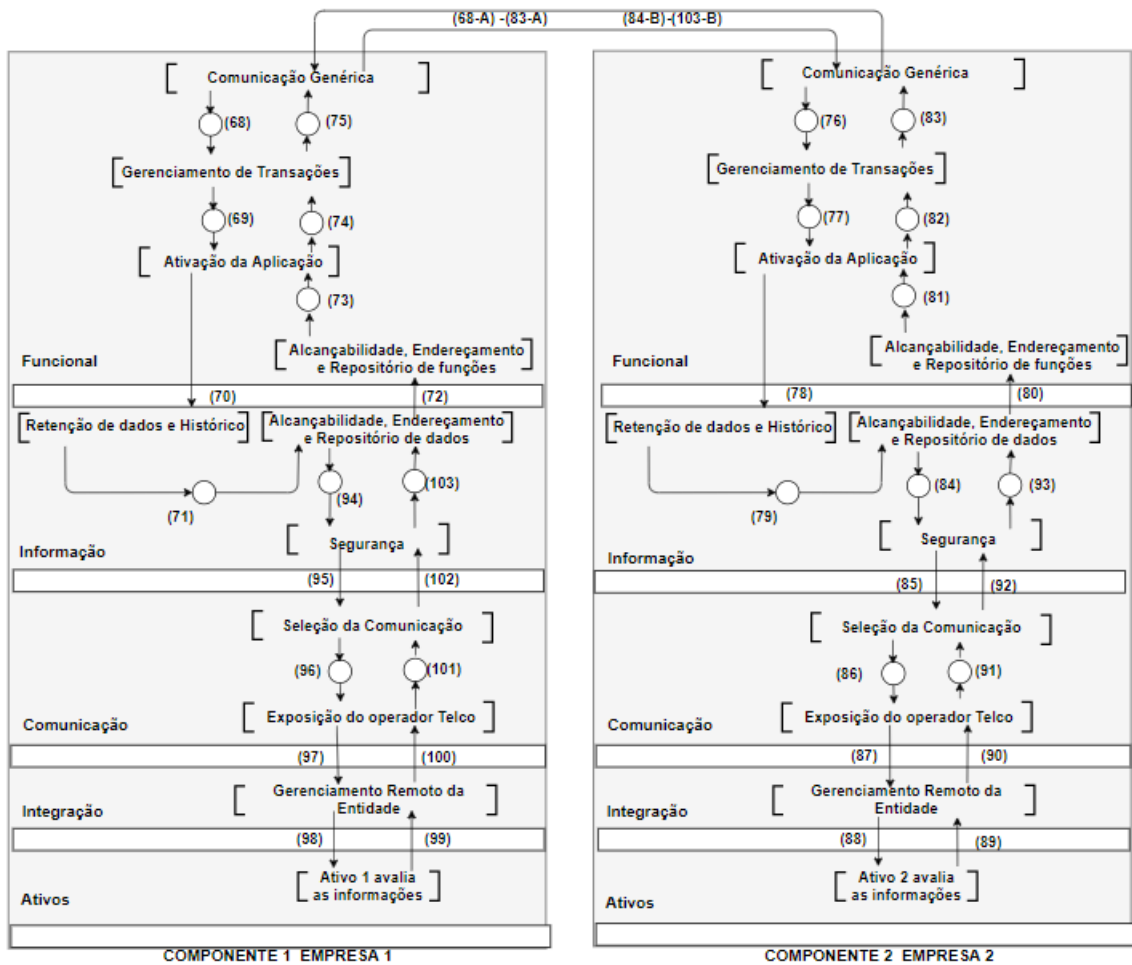
4.3 *Discussão dos Resultados no PFS*

Diferente das Figuras 26, 27, 28, 29, 30 e 31, os modelos em PFS estabelecem o que ocorre em cada nível do eixo Camadas do RAMI 4.0. Estes modelos também são baseados na Figura 25, que define as funções da “Capacidade dos Serviços”, trazidas do M2M-ETSI, e qual significado delas em cada nível do eixo Camadas do RAMI 4.0.

Em relação a Figura 25, os modelos desenvolvidos em PFS foram cruciais para mostrar como as funções da “Capacidade dos Serviços” interagem umas com as outras no contexto do RAMI 4.0.

As funções da “Capacidade dos Serviços” em geral apresentam abordagens iguais em cada situação. Por exemplo, a [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) deve sempre proporcionar informações para os níveis inferiores e superiores do eixo

Figura 37 – Determinar o melhor Componente I4.0 e interagir com ele somente pelo nível Funcional



Fonte: O autor

Camadas do RAMI 4.0. A única função que apresenta diferentes abordagens é a **[Ativação da Aplicação]** (3.2.5.1), que dependendo da situação, pode definir: (1) o Componente I4.0 que mais se enquadra em um serviço; ou (2) uma lista de possíveis Componentes I4.0 aptos; ou definir quais informações devem ser enviadas para outro Componente I4.0.

Com base na modelagem conceitual da Integração *Machine to Machine* no contexto da Indústria 4.0, agora se faz a modelagem funcional para validar a dinâmica dos processos.

5 Modelo Funcional e Análise da Interação M2M

A partir dos modelos em PFS é possível derivar modelos que descrevem os detalhes funcionais em rede de Petri. São apresentados aqui dois casos: a comunicação M2M dentro de uma mesma empresa e a comunicação entre empresas distintas, respectivamente.

Algumas considerações gerais são necessárias para que seja possível analisar os modelos em RdP:

- As análises em RdP são essenciais para identificar a inexistência de *deadlocks*, comportamentos previstos e confirmar a segurança e reversibilidade dos processos;
- Os modelos apresentados nesse projeto retratam um caso particular onde existem apenas dois Componentes I4.0 aptos para realizar o serviço solicitado. Contudo, um **Componente Broker** pode verificar a disponibilidade de diversas máquinas aptas e independente de quantos Componentes I4.0 estiverem aptos a estrutura de interação não mudará.

Cada caso contém as interações M2M e também a explicação de cada atividade. Para facilitar o entendimento das Transições, Lugares e Arcos orientados são divididos em cores da seguinte forma:

Verde - São artifícios para que cada interação tenha um caminho pré definido e consiga estabelecer relações entre Componentes I4.0 com a ordem que devem ocorrer. Dessa forma, a análise com os artifícios têm o papel de direcionar as interações internas e entre Componentes I4.0;

Vermelho - São as relações entre os níveis do eixo Camadas do RAMI 4.0 de cada Componente I4.0;

Preto - São estabelecidos no PFS como as interações internas, ou seja, são as interações dentro dos níveis do eixo Camadas do RAMI 4.0.

Para simplificar a explicação o termo M2M-DE define a comunicação M2M dentro da Empresa, enquanto o termo M2M-EE representa a comunicação M2M entre empresas distintas.

As etapas na interação M2M dentro de uma mesma empresa são organizadas conforme a interação entre Componentes I4.0 ocorrem, onde:

Etapa 1 M2M-DE - Descreve a interação completa entre o **Componente 1** e o **Componente Broker**;

Etapa 2 M2M-DE - Interação entre o **Componente 1** e os **Componentes 2 e 3**;

Etapa 3 M2M-DE - Definição do Componente I4.0 que melhor se enquadra no serviço solicitado pelo **Componente 1**, negociação no nível “Funcional”, troca de informações pelo nível de “Comunicação” e realização do serviço;

Na interação M2M entre empresas algumas etapas apresentam algumas diferenças. Nesse caso:

Etapa 1 M2M-EE - Contêm a **Etapa 1 M2M-DE**, além da comunicação do **Componente Broker Empresa 1** com o **Componente Broker de Negociação entre Empresas** e a comunicação entre o **Componente Broker de Negociação entre Empresas** e os **Componentes Brokers** das empresas que possam a vir a realizar o serviço;

Etapa 2 M2M-EE - Da mesma forma que a **Etapa 2 M2M-DE**, define a interação entre o **Componente 1 Empresa 1** e os Componentes I4.0 que estão disponíveis e aptos para a realização do serviço;

Etapa 3 M2M-EE - Define o Componente I4.0 que melhor se enquadra no serviço solicitado e posterior interação com esse Componente I4.0 (fase negociação) e realização do serviço;

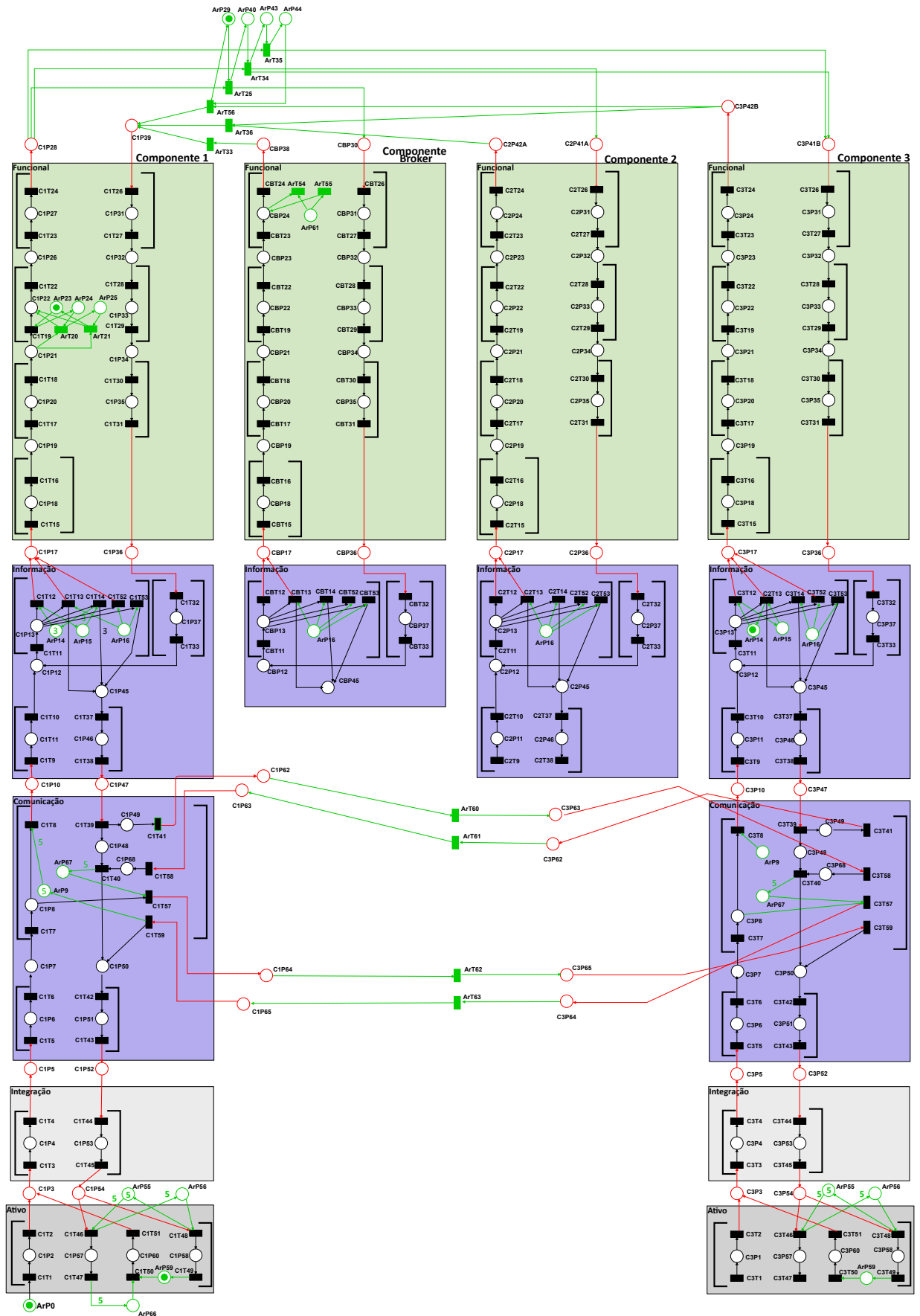
Segundo Junqueira e Miyagi (2009), o PFS é um tipo de rede de Petri que descreve a parte inicial da modelagem e pode ser traduzida gradativamente para modelos em rede de Petri, que detalha os aspectos dinâmicos da interação. Nesse sentido, os modelos em rede de Petri são derivados diretamente dos modelos em PFS do capítulo 4.

5.1 Modelagem funcional da interação Machine to Machine dentro de uma mesma Empresa

A interação M2M dentro de uma mesma empresa está modelado na Figura 38, desde da solicitação do serviço até o serviço finalizado.

As “transições” e “lugares” presentes na Figura 38 são representadas pelos nomes dos Componentes I4.0 (**Cx**) seguidos de uma numeração correspondente, sendo **Py** para “lugar” e **Ty** para “transição”. Os artifícios no entanto, são representados pelas iniciais **Ar** e terminados também com uma numeração. O **x** determina uma numeração correspondente ao Componente I4.0, sendo $x = 1, 2, 3, \dots$, e o **y** uma numeração para o “lugar” ou “transição”, podendo ser $y = 1, 2, 3, \dots$

Figura 38 – Rede de Petri da interação *Machine to Machine* dentro da mesma empresa



Para descrever como ocorre cada processo, foi realizada uma simulação para prever o que acontece em cada interação interna e em cada interação entre Componentes I4.0. A explicação detalhada da Figura 38 e da simulação é descrita a seguir.

5.1.1 Análise da interação Machine to Machine dentro de uma empresa

Para análise das interações internas e entre Componentes I4.0 de cada parte do processo, nessa seção é explicado como as atividades agem na interação. Nesse quesito foi realizada uma simulação em rede de Petri onde são considerados:

- Sempre vai existir dentro da empresa Componentes I4.0 aptos para realizar o serviço solicitado;
- O Componente I4.0 que solicitou o serviço sempre vai aceitar uma das propostas enviadas para ele;
- Como exemplificação, na interação final no nível de “Comunicação”, onde o Componente I4.0 escolhido realiza o serviço, os Componentes I4.0 se comunicam cinco vezes antes do serviço ser finalizado. Essas informações estão presentes na Figura 38, com os artifícios no nível de “Ativos” incluindo esses cinco ciclos de interação.

Para ajudar a compreender os processos analisados, as atividades correspondentes dos modelos PFS criados no Capítulo 4 são incluídas ao lado das interações em rede de Petri em cada Figura analisada. Desta forma, é explicado o que acontece nos processos internos das atividades.

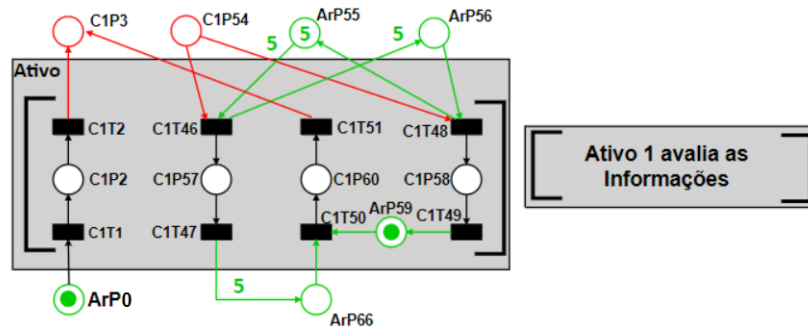
Nesse sentido é possível iniciar a explicação detalhada da Figura 38 observando as Etapas descritas na introdução desse capítulo.

Etapa 1 M2M-DE

A primeira etapa de comunicação, **Etapa 1 M2M-DE**, corresponde à interação entre o **Componente 1** e o **Componente *Broker***.

No nível de “Ativos” do **Componente 1**, a primeira atividade definida como [**Ativo 1 avalia as informações**] (C1T1-C1T2), compreende a solicitação de um serviço pelo **Ativo 1**. É iniciada após **ArP0**, que trata a única requisição do ativo, e tem o objetivo de processar as informações e solicitar serviços. Sendo **C1P3** a interface com o nível de “Integração” ilustrada na Figura 39.

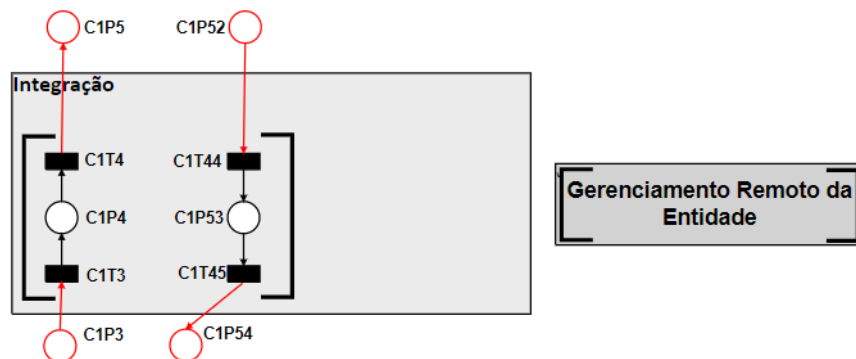
Figura 39 – Modelo no nível de “Ativos” do **Componente 1** na interação M2M dentro da mesma Empresa



Fonte: O autor

No nível de “Integração” do **Componente 1** (Figura 40) tem a atividade [**Gerenciamento Remoto da Entidade**] (3.2.2.1) (C1T3-C1T4), que com sinais de sensores, coleta as informações do **Ativo 1**. Posteriormente essas informações são testadas e há a verificação de possíveis erros de transferências de dados, configurações e por fim a conversão completa do mundo físico para o digital. Com o término dessa atividade, **C1P5** é a interface para o nível de “Comunicação”.

Figura 40 – Modelo no nível de “Integração” do **Componente 1** na interação M2M dentro da mesma Empresa

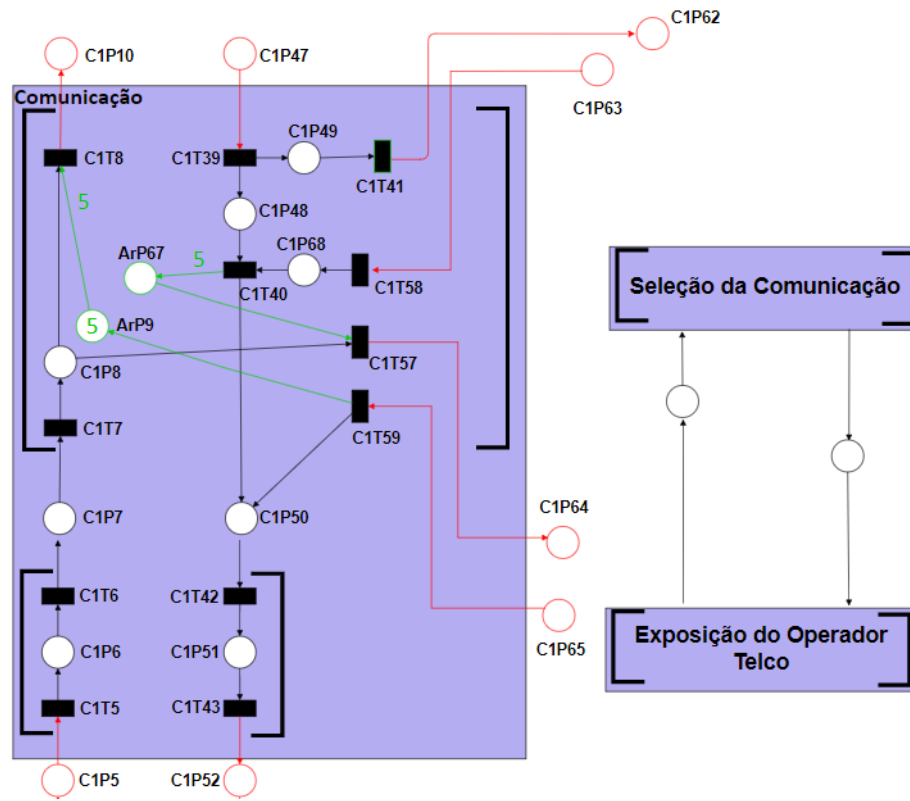


Fonte: O autor

No nível de “Comunicação” o **Componente 1** contém duas atividades (Figura 41). A primeira definida como [**Exposição do operador Telco**] (3.2.3.2) (C1T5-C1T6), que converte as informações de uma rede local para uma rede externa de comunicação e faz com que essas informações sejam distribuídas para outras atividades. O **C1P7** é a interface para a atividade [**Seleção da Comunicação**] (3.2.3.1).

A segunda atividade, definida como [**Seleção da Comunicação**] (3.2.3.1) (C1T7-C1T8), faz com que as informações cheguem ao nível de “Informação”. Essa atividade contém o artifício **ArP9** que define algumas outras funcionalidades que serão detalhadas na **Etapa 3 M2M-DE**. A interface entre o nível de “Comunicação” e “Informação” é realizado por **C1P10**.

Figura 41 – Modelo no nível de “Comunicação” do **Componente 1** na interação M2M dentro da mesma Empresa



Fonte: O autor

O nível de “Informação” do **Componente 1** (Figura 42) é composto por três atividades. A primeira definida como [**Segurança**] (3.2.4.2) (C1T9-C1T10), permite que as informações que sejam analisadas no nível de “Informação” tenham confiabilidade, autenticidade, integridade e confidencialidade. A interface para a [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) é realizada por C1P12.

A segunda atividade, definida como [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1), armazena e processa as informações que foram retiradas do **Ativo 1**. Diante disso essas informações podem ser disponibilizadas para situações diferentes. Na Tabela 4 é demonstrado o que ocorre em cada situação quando a “transição” é acionada. O x pode representar os **Componentes Broker, 1, 2 ou 3**.

A comunicação deve retornar para a [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) do **Componente 1** três vezes antes de descer para os níveis inferiores do eixo Camadas do RAMI 4.0. Esses processos definem as interações que ocorrem entre Componentes I4.0 antes que o serviço seja de fato realizado. Além disso, determinam um número mínimo de interações entre Componentes I4.0.

Para essas interações se tem os artifícios **ArP14**, **ArP15** e **ArP16**, que definem quais são os critérios para a tomada de decisões e podem ser adaptados para analisar o comportamento de cada Componente I4.0. Uma explicação de como a quantidade de “marcas” interfere na interação está presente na Tabela 5, onde a mudança da “marca”, inicialmente consumida por **C1T12**, identifica a interação. Após essa atividade, **C1P17** fornece a interface para a interação com a [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções] (3.2.5.4).

Tabela 4 – Interações entre o **Componente 1** e outros Componentes I4.0 na [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados]

Estado dos Lugares			Interações
ArP14	ArP15	ArP16	
			Interação do Componente 1 com o Componente <i>Broker</i>
			Interação do Componente 1 com os Componentes 2 e 3
			Interação do Componente 1 com o Componente 3
			Interação com os níveis inferiores do Componente 1

Fonte: O autor

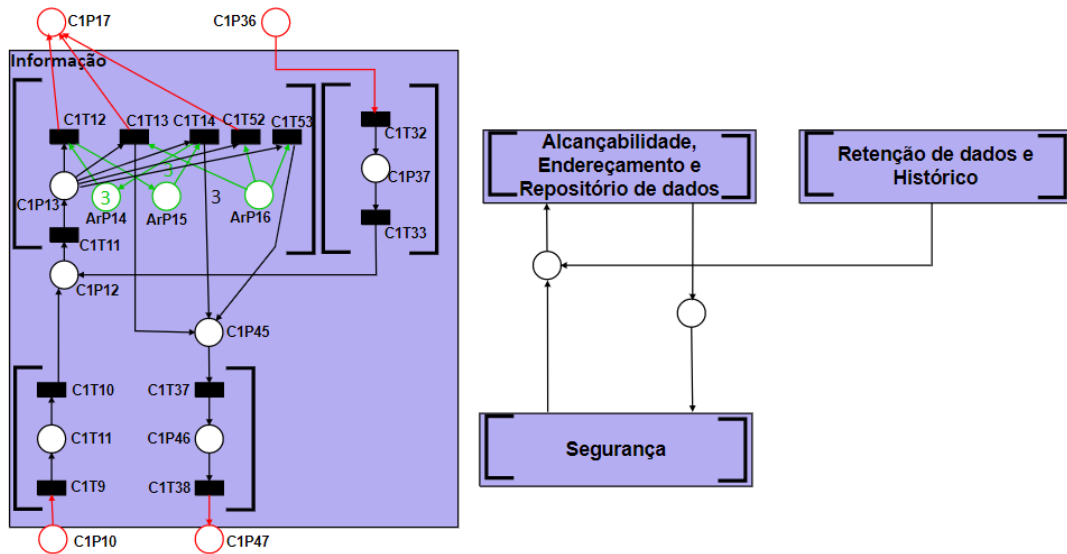
A terceira atividade (Figura 42) é a [Retenção de dados e Histórico] (3.2.4.3), que não participa da interação nessa primeira parte.

Tabela 5 – Eventos ativados com as transições

Transição	Acontecimento
CxT12	Disponibiliza informações para o nível “Funcional”
CxT13	Disponibiliza informações para o nível “Funcional” e os níveis inferiores
CxT14	Disponibiliza informações para os níveis inferiores
CxT52	Disponibiliza informações para os níveis inferiores (somente interação M2M entre Empresas)
CxT53	Disponibiliza informações para o nível “Funcional” (somente interação M2M entre Empresas)

Fonte: O autor

Figura 42 – Modelo no nível de “Informação” do **Componente 1** na interação M2M dentro da mesma Empresa



Fonte: O autor

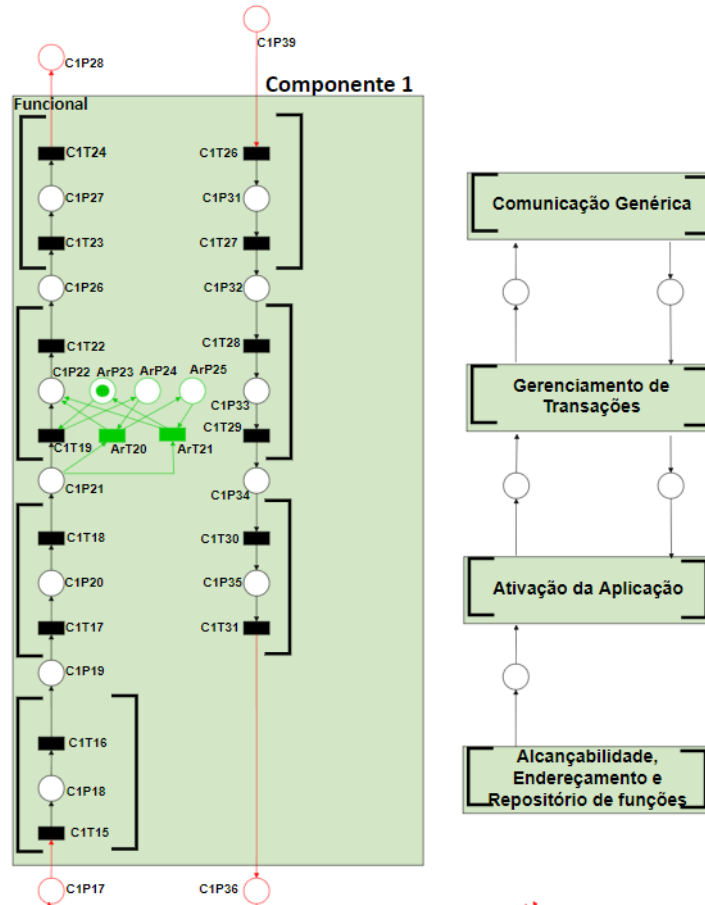
O nível “Funcional” do **Componente 1** (Figura 43) é composto por quatro atividades. A primeira atividade, definida como [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções] (3.2.5.4) (C1T15-C1T16), que cria interfaces para estabelecimento de funções apropriadas para serem utilizadas na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1), que é interligada por C1P19.

A segunda, definida como [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (C1T17-C1T18), indica quais informações, assim como as solicitações do serviço que devem ser enviadas para o **Componente Broker**. Com as solicitações criadas, o C1P21 é a interface com o [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3).

A terceira, definida como [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (C1T19-C1T22), faz o gerenciamento de endereços e também oferece suporte para transações de solicitação e resposta. Possui artifícios que servem para entender as tomadas de decisão que precisam ser implementadas quando são codificadas em alguma linguagem de programação. São divididas em três fases da comunicação, sendo: (1) C1T19 habilitada, com uma “marca” de C1P21 e outra de ArP23, para comunicação com o **Componente Broker**; (2) C1T20 habilitada, com uma “marca” de C1P21 e outra de ArP24, para fornecer a consulta dos Componentes I4.0 aptos e disponíveis; e (3) com C1T21 habilitada, com uma “marca” de C1P21 e outra de ArP25, para a comunicação com o **Componente 3**. Nessas três fases C1P22 é marcada e C1T22 habilitada. O artifício dessa atividade tem como objetivo orientar em qual fase está ocorrendo a análise e não interfere no funcionamento das outras atividades. Posteriormente C1P26 é a interface com a atividade [Comunicação Genérica] (3.2.5.2).

A quarta, definida como [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (C1T23-C1T24), aplica a interação com o **Componente Broker**. No geral é o ponto de contanto entre o **Componente 1** e os demais Componentes I4.0.

Figura 43 – Modelo no nível “Funcional” do **Componente 1** na interação M2M dentro da mesma Empresa

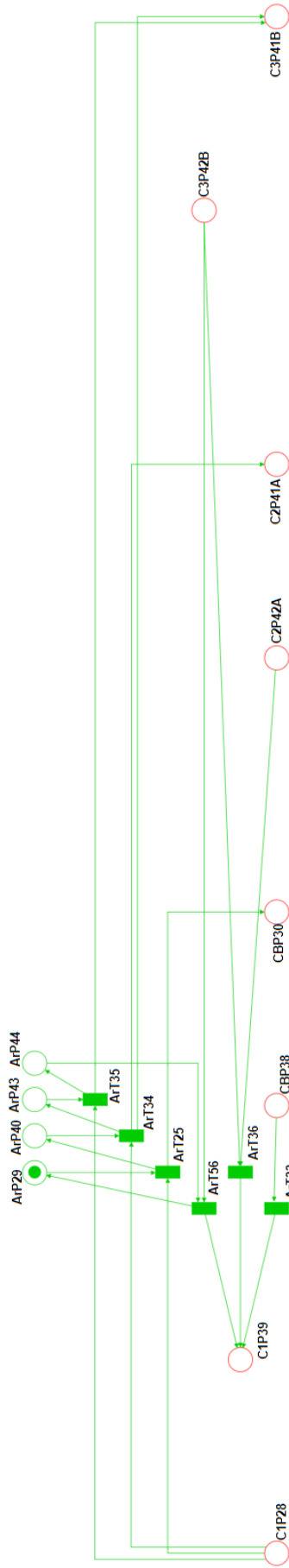


Fonte: O autor

Os artifícios representados na Figura 44 representam o *status* da interação em um determinado instante. A partir delas é possível direcionar às “marcas” aos Componentes I4.0 correspondentes as interações no modelo em PFS. A Tabela 6 representa como as alterações das “marcas” interferem na interação nessa fase. Como observado na Tabela 6, a habilitação da interação com o **Componente Broker** ocorre por meio de **ArP29**, partindo inicialmente de **C1P28**.

















O nível “Funcional” do **Componente Broker** (Figura 45), tem quatro atividades. A primeira é a [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (CBT26-CBT27), que define a entrada da informação no **Componente Broker**, os métodos para segurança destas e reparação de erros. Nessa atividade as “transições” **CBT54** e **CBT55** não são disparadas, pois estão relacionadas à interação M2M entre empresas que oferecem acesso ao nível “Regra de Negócio” do **Compo-**

Figura 44 – Artífios para interação entre Componentes I4.0 dentro da mesma empresa



Fonte: O autor

Tabela 6 – Relação dos artifícios com as interações

Estado dos Lugares				Habilitação das Interações
ArP29	ArP40	ArP43	ArP44	
				Habilita ArT25 para interação com o Componente <i>Broker</i>
				Habilita ArT34 para interação do Componente 1 com os Componentes 2 e 3
				Habilita ArT35 para interação do Componente 1 com o Componente 3
				Habilita ArT56 para o retorno ao Componente 1 para interação pelo nível de "Comunicação"

Fonte: O autor

nente *Broker*. A interface com o [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) ocorre por meio do CBP32.

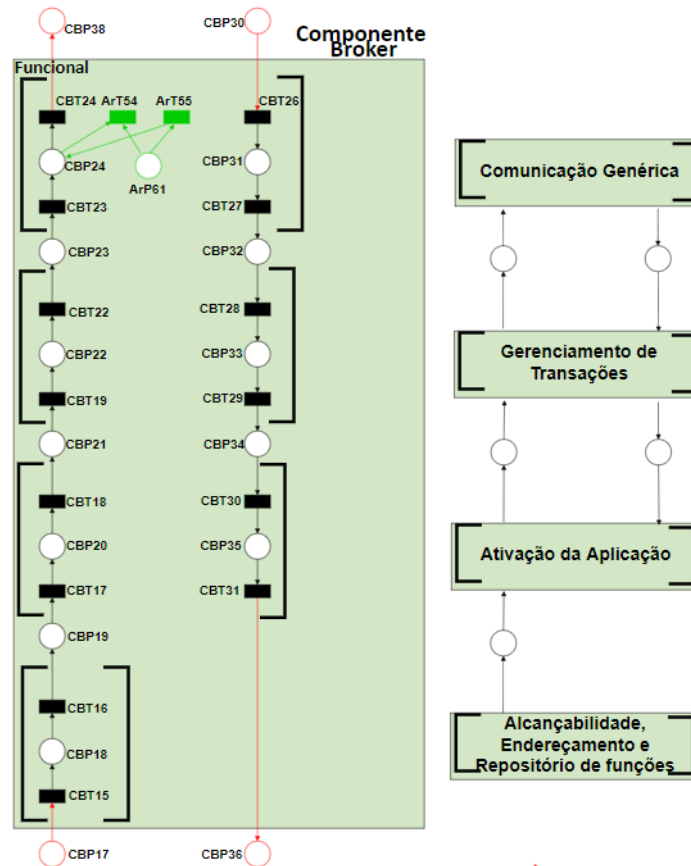
A segunda, definida como [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (CBT28-CBT29), coleta as informações do **Componente 1** e conclui a interação verificando erros e configurações. No final se tem a interface com a [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) pela CBP34.

A terceira, definida como [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (CBT30-CBT31), processa a análise das informações enviadas pelo **Componente 1** e define que tipo de informações devem ser disponibilizadas no nível de "Informação" para identificar os Componentes I4.0 aptos e disponíveis. Sendo assim, a interface com o nível de "Informação" é realizado por CBP36.

A quarta atividade, definida como [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções] (3.2.5.4), não desempenha papel algum na recepção das mensagens.

No nível de "Informação" o **Componente Broker** (Figura 46) tem duas atividades. Primeiro a [Retenção de dados e Histórico] (3.2.4.3) (CBT32-CBT33), que armazena *logs* de conexão assim como informações de outros Componentes I4.0 que podem ajudar na identificação de funcionalidades e assim auxiliar na escolha dos Componentes I4.0 aptos e disponíveis. A [Retenção de dados e Histórico] (3.2.4.3), no **Componente Broker**, ainda tem o papel de armazenar todas as informações dos Componentes I4.0 dentro da Indústria 4.0, como descrito na Seção 2.7 quando é explicado como os Componentes I4.0 são descobertos. A interface com

Figura 45 – Modelo no nível “Funcional” do **Componente Broker** na interação M2M dentro da mesma Empresa



Fonte: O autor

a [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] (3.2.4.1) ocorre por meio de **CBP12**.

A segunda, definida como [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] (3.2.4.1) (CBT11-CBT12), realiza o armazenamento, processamento e disponibiliza as informações essenciais, definidas na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1), para a escolha dos Componentes I4.0 aptos e disponíveis para a realização do serviço do **Componente 1**. A representação do que acontece em cada transição é descrita na Tabela 4. Sendo **CBT12** habilitada e **CBP17** a interface com o nível “Funcional”.

Retornando à Figura 45 as quatro atividades são acionadas, iniciando pela [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções] (3.2.5.4) (CBT15-CBT16), que cria interfaces para implementação de funções apropriadas para a definição dos Componentes I4.0 aptos na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1); a interface entre ambas é por **CBP19**.

Na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (CBT17-CBT18) é definida a relação dos Componentes I4.0 aptos e também se tem a elaboração de uma lista contendo todas informações

A terceira atividade, definida como **[Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (C1T30-C1T31)**, define que tipos de informações devem ser disponibilizadas no nível de “Informação” e, se for necessário, exclui propostas de Componentes I4.0 que não se enquadram no serviço solicitado. A interface com o nível de “Informação” é feita por **C1P36**.

No nível de “Informação” do **Componente 1**, ilustrada na Figura 42, duas atividades são acionadas. A primeira é a **[Retenção de dados e Histórico] (3.2.4.3) (C1T32-C1T33)**, que armazena os *logs* de conexão e endereços dos Componentes I4.0 que estão presentes na lista enviada pelo **Componente Broker**; e a segunda é a **[Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] (3.2.4.1) (C1T11-C1T12)**, que disponibiliza as informações sobre os questionamentos advindos da **[Ativação da Aplicação] (3.2.5.1)** em relação às propostas dos Componentes I4.0 aptos para realizar o serviço. O que se tem após **C1T12** ser disparada segue a Tabela 4 e as mudanças de “marcas” dos artifícios são definidas pela interação do **Componente 1** com os **Componentes 2 e 3** na Tabela 5, onde se consulta os Componentes I4.0 aptos e disponíveis. A interface com o nível “Funcional” é realizada por **C1P17**.

Com a disponibilização das informações para o nível “Funcional”, na Figura 43, estas são direcionadas primeiramente para a **[Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções] (3.2.5.4) (C1T15-C1T16)**, que fornece as funções para criação e atualização na **[Ativação da Aplicação] (3.2.5.1)** para definir novas solicitações.

A **[Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (C1T17-C1T18)** indica quais informações devem ser repassadas aos **Componentes 2 e 3** e quais novos requisitos devem ser criados para o detalhamento do serviço. A interface com a atividade **[Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3)** é via **C1P21**.

O **[Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (C1T19-C1T22)** realiza a propagação das informações para os **Componentes 2 e 3** oferecendo suporte para transações de solicitação e resposta. A interface com a **[Comunicação Genérica] (3.2.5.2)** é realizada por **C1P26**.

A **[Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (C1T23-C1T24)** aplica os princípios de segurança necessários para a interação e efetua a ponte para os outros **Componentes 2 e 3**.

Retornando aos artifícios para interação entre Componentes I4.0, ilustrada na Figura 44, **C1P28** é marcado e, utilizando o artifício **ArP40** da Tabela 6, é possível chegar a **C2P41A** e **C3P41B** dos **Componentes 2 e 3**, respectivamente.

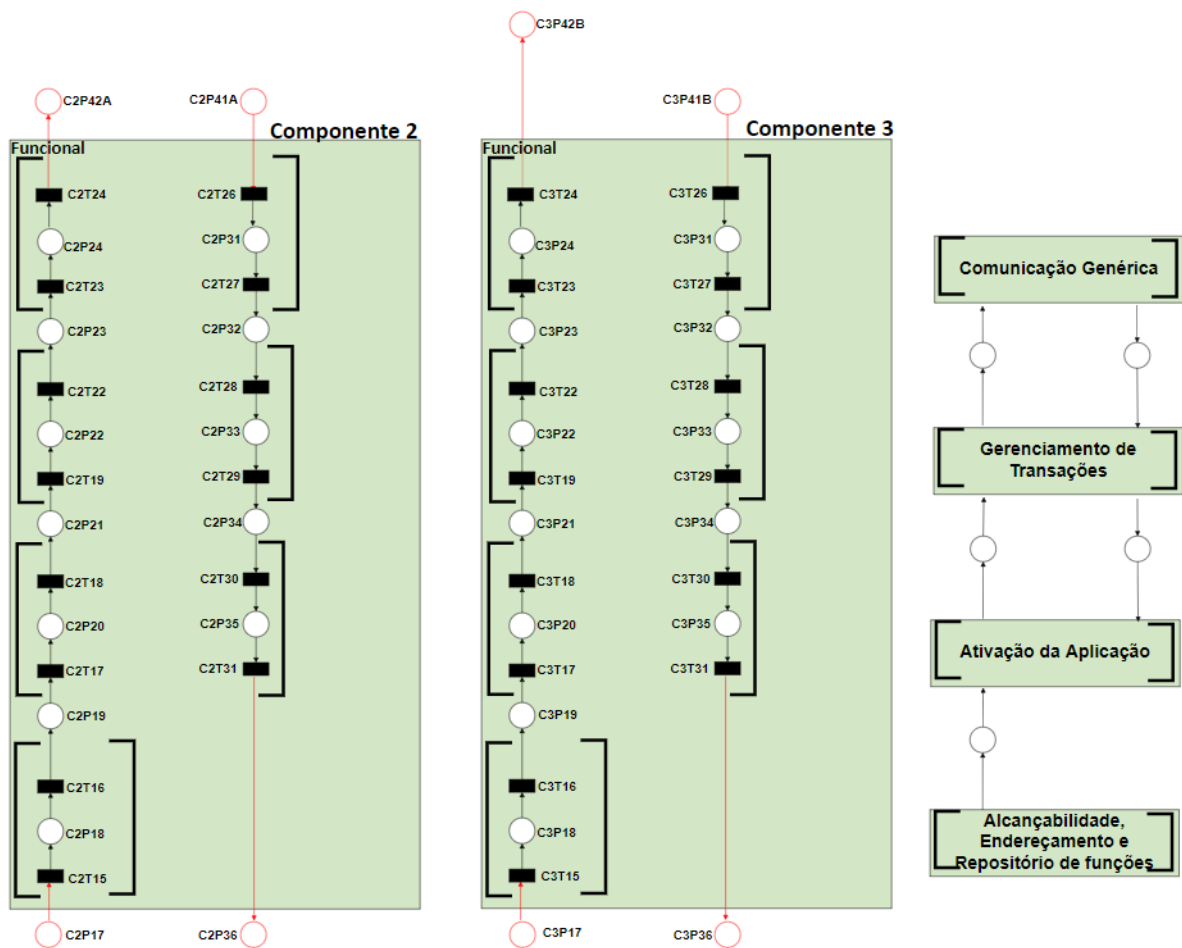
O nível “Funcional” dos **Componentes 2 e 3** (Figura 47) indica as interações internas dos **Componentes 2 e 3**, que para esse caso são as mesmas.

A [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (C2T26-C2T27) e (C3T26-C3T27) trata a segurança das informações que chegam e fornece o reparo de erros. As interfaces com o [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) são realizadas por C2P32 e C3P32.

O [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (C2T28-C2T29) e (C3T28-C3T29) coleta as informações e finaliza parcialmente a interação com o Componente 1. Com as interfaces com a [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) sendo feitas por C2P34 e C3P34.

A [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (C2T30-C2T31) e (C3T30-C3T31) indica que tipos de informações devem ser disponibilizadas no nível de “Informação” para cumprir as novas exigências do Componente 1 para realização do serviço. A interface para o nível de “Informação” de cada Componente I4.0 é realizada por C2P36 e C3P36.

Figura 47 – Modelo no nível “Funcional” dos Componentes 2 e 3 na interação M2M dentro da mesma Empresa



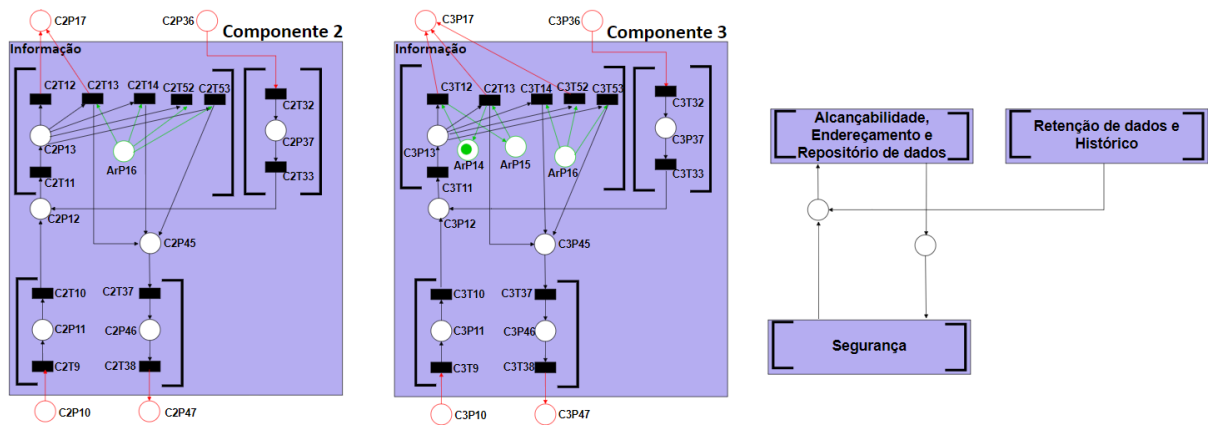
Fonte: O autor

No nível de “Informação”, os Componentes 2 e 3 (Figura 48) apresentam duas atividades em cada Componente I4.0. A primeira, definida como [Retenção de dados e Histórico] (3.2.4.3) (C2T32-C2T33) e (C3T32-C3T33), armazena informações de logs de conexão e endereços

do **Componente 1**. A segunda atividade, definida como **[Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados]** (3.2.4.1) (C2T11-C2T12) e (C3T11-C3T12), indica as informações que devem ser disponibilizadas para que a nova lista contendo os novos requisitos sejam criados.

As “transições” presentes na **[Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados]** (3.2.4.1) são estabelecidas na Tabela 4, com o disparo de C2T12 e C3T12. Os artifícios utilizados no **Componente 3** são descritos na Tabela 7 e descrevem o que representa cada mudança das “marcas” nos “lugares” a partir do disparo de C3T12. Com isso, esses artifícios direcionam a última etapa de interação entre os **Componentes 1 e 3**. No **Componente 2** o artifício ArP16 impossibilita que qualquer transição, além de C2T12, seja habilitada. As interfaces com o nível “Funcional” de cada Componente I4.0 são realizadas por C2P17 e C3P17.

Figura 48 – Modelo no nível de “Informação” dos **Componentes 2 e 3** na interação M2M dentro da mesma Empresa



Fonte: O autor

Tabela 7 – Comportamento interno na **[Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados]** do **Componente 3**

Estado dos Lugares			Interações
ArP14	ArP15	ArP16	
○	●	○	Interação do Componente 3 com o Componente 1
●	○	○	Interação do Componente 3 com o Componente 1 e com os níveis inferiores do Componente 3

Fonte: O autor

No nível “Funcional” dos **Componentes 2 e 3** (Figura 47), têm-se uma sequencia de atividades, iniciando na **[Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de funções]** (3.2.5.4)

(C2T15-C2T16) e (C3T15-C3T16), que cria uma interface de funções para utilização na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1). As interfaces entre as duas atividades ocorre via C2P19 e C3P19 nos Componentes 2 e 3, respectivamente.

A [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (C2T17-C2T18) e (C3T17-C3T18) cria uma nova lista contendo como podem ser resolvidos os novos requisitos solicitados pelo Componente 1. Com isso é realizada a interface com o [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) por C2P21 e C3P21.

O [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (C2T19-C2T22) e (C3T19-C3T22) realiza a propagação das informações para o Componente 1 com suporte para transações de solicitação e resposta de informações. Essas mensagens propagadas são enviadas para a [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) por meio de C2P23 e C3P23.

A [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (C2T23-C2T24) e (C3T23-C3T24) trata da segurança na troca de mensagens e define os protocolos para interação.

Nessa fase final da **Etapa 2 M2M-DE**, a informação retorna para o Componente 1, demonstrada na Figura 44. Com as “marcas” de C2P42A e C3P42B dos Componentes 2 e 3 consumidas por ArT36, sendo C1P39 marcada no final.

Etapa 3 M2M-DE

A **Etapa 3 M2M-DE** é iniciada no nível “Funcional” do Componente 1. Na Figura 43 é ilustrada a sequencia de atividades passando pela [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (C1T26-C1T27), que define os princípios de segurança para interação, e detecta e corrige eventuais erros; o [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (C1T28-C1T29), que coleta as informações e finaliza a interação com os Componentes 2 e 3; e pela [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (C1T30-C1T31), que analisa as informações provenientes dos Componentes 2 e 3 e define qual Componente I4.0 atendeu melhor os requisitos do serviço, que foi o Componente 3 neste exemplo. A interface com o nível de “Informação” é realizado por C1P36.

No nível de “Informação” o Componente 1 (Figura 42) tem a atividade [Retenção de dados e Histórico] (3.2.4.3) (C1T32-C1T33) para o armazenamento de *logs* de conexão e informações de outros Componentes I4.0.

A segunda atividade, definida como [Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] (3.2.4.1) (C1T11-C1T12), realiza a disponibilização de informações de acordo com o

que foi solicitado na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1). Na Tabela 4, C1T12 é habilitada para disponibilizar informações apenas para o nível “Funcional” e a Tabela 5 ilustra a interação do **Componente 1** com o **Componente 3**. A interface com o nível “Funcional” ocorre por C1P17.

Retornando ao nível “Funcional” do **Componente 1** (Figura 43), este apresenta uma sequência de atividades, que começa com a [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções] (3.2.5.4) (C1T15-C1T16), que estabelece as funções necessárias para a criação da interface no [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1); a [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) define novas solicitações para serem enviadas para o **Componente 3**; o [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (C1T19-C1T22), propaga as informações para o **Componente 3** e fornece suporte para transações de solicitação e resposta; e pela [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (C1T23-C1T24) para interação e definição dos protocolos necessários.

Os artifícios disciplinam a interação entre o **Componente 1** com o **Componente 3**, estes estão ilustrados na Figura 44 e na Tabela 6. Inicialmente C1P28 está marcado, e utilizando a Tabela 6 como referência para habilitar ArT35, é possível chegar em C3P41B no **Componente 3**.

No nível “Funcional” do **Componente 3** (Figura 47), define-se uma sequência que é iniciada com a atividade [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (C3T26-C3T27), que detecta e corrige eventuais erros e configurações de segurança; segue no [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (C3T28-C3T29), que coleta as informações e finaliza parcialmente a interação com o **Componente 1**; e termina na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (C3T30-C3T31), que analisa as informações advindas do **Componente 1** e define que tipos de informações devem ser disponibilizadas no nível de “Informação”. A interface com o nível de “Informação” é via C3P36.

No nível de “Informação” o **Componente 3** (Figura 48) tem três atividades. A primeira, [Retenção de dados e Histórico] (3.2.4.3) (C3T32-C3T33), que armazena os *logs* de conexão e informações de funcionalidades do **Componente 1**. A segunda atividade, definida como [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] (3.2.4.1) (C1T11-C1T12), que disponibiliza as informações prioritárias definidas na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) para negociação e primeiros serviços nos níveis inferiores. Observando a Tabela 7 é possível identificar que o artifício ArP14, que fornece a interação para os níveis inferiores do eixo Camadas do RAMI 4.0 e para o nível “Funcional”, está marcado.

Nessa fase existem duas marcas seguindo caminhos diferentes: a primeira que parte de C3P45, passando pela atividade [Segurança] (3.2.4.2) (C3T37-C3T38), que fornece a proteção

das informações no nível de “Informação”; e a segunda que parte de **C3P17**, que representa a interface com o nível “Funcional”.

No nível “Funcional” do **Componente 3** (Figura 47), tem-se uma sequência de atividades que é iniciada com a [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções**] (3.2.5.4) (**C3T15-C316**), que seleciona as funções apropriadas para utilização na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1).

A [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (**C3T17-C318**) efetua as configurações para interação pelo nível “Funcional” e define os últimos ajustes para a interação ocorrer nos níveis inferiores do eixo Camadas do RAMI 4.0.

O [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (**C3T19-C3T20**) propaga as mensagens pelo nível “Funcional” com suporte para transação de solicitação e resposta de informações.

A [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (**C3T23-C3T24**) cria uma ponte com o **Componente 1** e detecta e corrige eventuais erros na troca de informações.

Na Figura 44, **C3P41B** do **Componente 3** é marcado, como observado na Tabela 6, para habilitar a transição **ArT56**, sendo assim possível chegar em **C1P28** no retorno ao **Componente 1**.

No nível “Funcional” do **Componente 1** (Figura 43), retorna-se uma sequência de atividades iniciando na [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (**C1T26-C1T27**), que efetua as correções de erros e os perfis de segurança; percorrendo o [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (**C1T28-C1T29**), que coleta todas as informações advindas do **Componente 1** e encerra a negociação pelo nível “Funcional”; e termina na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (**C1T30-C1T31**) que determina as configurações necessárias para a interação pelo nível de “Comunicação”. A interface com o nível de “Informação” é realizada por **C1P36**.

No nível de “Informação” (Figura 42), tem-se a atividade [**Retenção de dados e Histórico**] (3.2.4.3) (**C1T32-C1T33**), que armazena os *logs* de conexão e todas as informações de funcionalidades do **Componente 3** e com a [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) (**C1T11 e C1T14**), que efetua o armazenamento e processamento de informações e as disponibilizam somente para os níveis inferiores, como mostrado na Tabela 4 quando **C1T14** é habilitada, e na Tabela 5, nas interações com os níveis inferiores do **Componente 1**. Essas informações estão relacionadas a todas as configurações realizadas no nível de negociação e fornecem um cronograma de eventos do que deve acontecer até o serviço ser finalizado. A interface com a atividade [**Segurança**] (3.2.4.2) é realizada por **C1P45**.

A [Segurança] (3.2.4.2) (C1T37-C1T38) fornece os meios para toda a negociação pelo nível “Funcional” ser completada, implementando perfis de segurança e meios para proteger as informações recebidas. A interface com o nível de “Comunicação” é realizada por C1P47 no Componente 1 e C3P47 no Componente 3.

Com o fim da negociação realizada no nível “Funcional”, a interface no nível de “Comunicação” é habilitada para interação, baseada em OPC-UA e representada na Figura 49 por C1T62, C1T63, C1T64 e C1T65, no Componente 1, e C3T62, C3T63, C3T64 e C3T65, no Componente 3. Essas interações ocorrem a partir da atividade [Seleção da Comunicação] (3.2.3.1), que possuem os artifícios para simular um ciclo de cinco interações. A Tabela 8 fornece um panorama dos ciclos após a chegada no nível de “Comunicação”. A liberação da interação pelos níveis inferiores é possível se houver autorização do Componente 1 e do Componente 3 retratados com “marcas” em C3P68 e C1P68 respectivamente. Após isso, cada Componente I4.0 está apto a acessar e avaliar as informações recebidas, sendo C1P50 e C3P50 as interfaces para a [Exposição do operador Telco] (3.2.3.2).

A [Exposição do operador Telco] (3.2.3.2) (C1T42-C1T43) e (C3T43-C3T44) define os meios e protocolos locais para que as informações consigam chegar na rede local de comunicação e ao nível de “Integração”, tornando C1P52 e C3P52 possíveis.

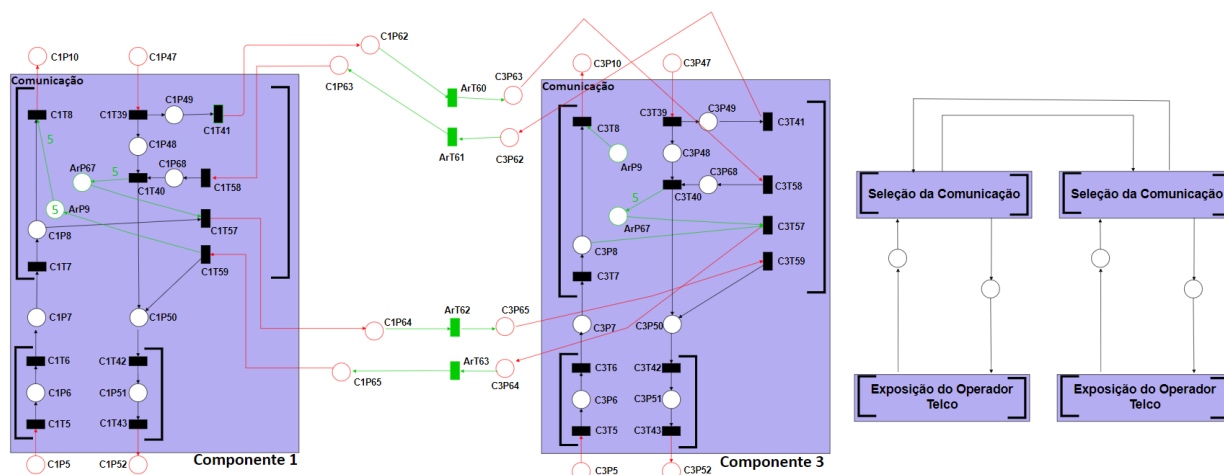
Tabela 8 – Habilitação de transições na [Seleção da Comunicação]

Lugares				Acontecimentos
CxP48	CxP49	CxP68	ArP67	
				Habilita CxT41 para mostrar para o outro Componente 4.0 que a interação está liberada pelo nível de "Comunicação"
				Habilita CxT40 para acesso aos níveis inferiores
				Habilita a interação pelo nível de "Comunicação" conforme a quantidade de ciclos de interações definidas na simulação

Fonte: O autor

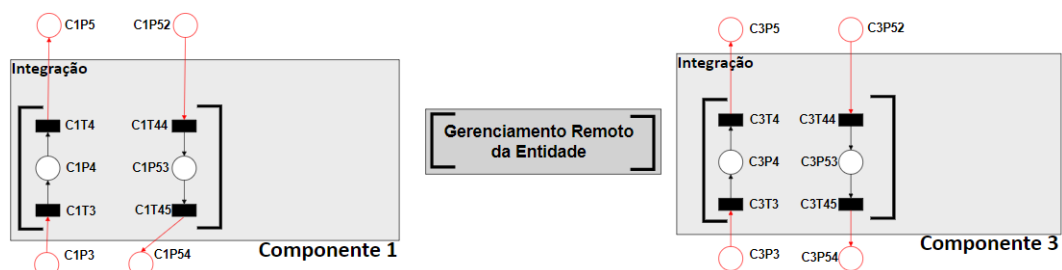
O [Gerenciamento Remoto da Entidade] (3.2.2.1) (C1T44-C1T45) e (C3T44-C3T45), observado na Figura 50, converte as informações vindas do nível de “Integração” para comandos no nível de “Ativos”, configurando e atualizando procedimentos que devem ser adotados. A interface com o nível de “Ativo” é realizado por C1P54 e C3P54.

Figura 49 – Modelo no nível de “Comunicação” dos **Componentes 1 e 3** na interação M2M dentro da mesma Empresa



Fonte: O autor

Figura 50 – Modelo no nível de “Integração” dos **Componentes 1 e 3** na interação M2M dentro da mesma Empresa



Fonte: O autor

No nível de “Ativos”, ilustrado na Figura 51, os artifícios são usados para simular cinco ciclos de interações pelo nível de “Comunicação” e definem que o **Componente 1** mandará novas informações para o **Componente 3** para cumprir corretamente o serviço.

No **Componente 3**, representado por [Ativo 3 avalia as Informações], a primeira fase (C3T46-C3T47) consiste em atualizar configurações e esperar novas informações do **Componente 1**.

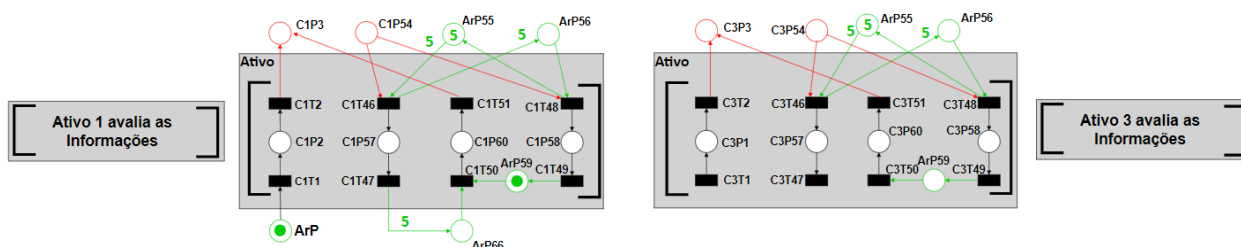
No **Componente 1**, representado pela atividade [Ativo 1 avalia as Informações], o primeiro ciclo tem o objetivo de atualizar as informações (C1T46-C1T47) e verificar novas solicitações do serviço para serem enviadas (C1T50-C1T51).

Os sensores enviam sinais das novas solicitações para o nível de “Integração”; estes passam pela interface C1P3, no **Componente 1**, e C3P3, no **Componente 3**.

No nível de “Integração”, retornando a Figura 50, as informações são coletadas pelo [Gerenciamento Remoto da Entidade] (3.2.2.1) (C1T3-C1T4) e (C3T3-C3T4), que configura

e atualiza informações. A interface com o nível de “Comunicação” é realizada por **C1P5** e **C3P5** por meio do [Gerenciamento Remoto da Entidade] (3.2.2.1) (**C1T5-C1T6**) e (**C3T5-C3T6**).

Figura 51 – Modelo no nível de “Ativos” dos **Componentes 1 e 3** na interação M2M dentro da mesma Empresa



Fonte: O autor

Os **Componentes 1 e 3** definem a conexão por meio da atividade [Seleção da Comunicação] (3.2.3.1) (**C1T7-C1T57**) e (**C3T7-C3T57**) (Figura 49), utilizando o OPC-UA.

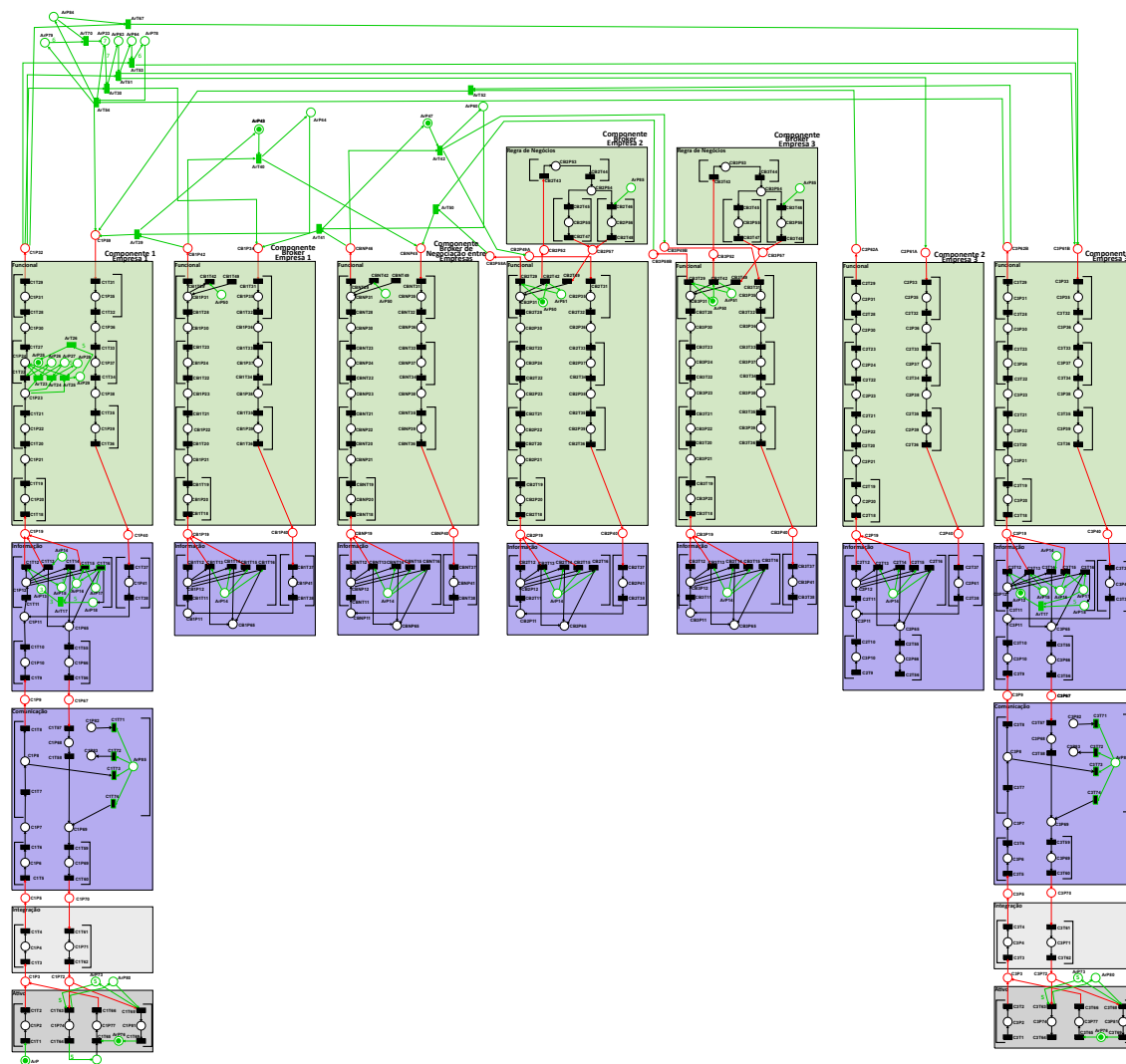
O segundo ciclo, que ocorre na segunda vez que a informação retorna ao nível de “Ativo”, consiste no serviço realizado pelo **Componente 3 (C3T48-CT53)**. Com os sensores recebendo as informações (**C3P58**), com o serviço sendo realizado em **ArP59**, no **Componente 3**, e enviando as informações para o nível de “Integração” por meio de sinais dos sensores em **C3P60**. Neste exemplo foi definido que ocorrem 5 interações e a análise termina em **ArP59** no nível de “Ativos” do **Componente 1**, quando o serviço é finalizado.

5.2 Modelagem funcional da interação Machine to Machine entre Empresas

A modelagem realizada para representar a interação M2M entre Empresas é definida por aspectos bem semelhantes à interação M2M dentro de uma mesma empresa. As identificações dos nomes de cada “transição” e “lugar” são divididos para diferenciar cada Componente I4.0 e cada atividade. Nela o **Componente x** ou **Componente Broker x** representa a definição do Componente I4.0, são seguidos por **Py** (“lugar”) ou uma **Ty** (“transição”). As letras **x** e **y**, como na seção anterior, definem um identificador para o Componente I4.0 e para a interação, respectivamente. No mesmo caso, o **Ar** define um artifício usado para a interação, seguido de um **Py** ou um **Ty**.

A ilustração da análise em rede de Petri da interação M2M entre Empresas é apresentada na Figura 52. Nela são definidos todos os Componentes I4.0 envolvidos na interação, assim como as interfaces e artifícios seguindo os modelos apresentados nas Figuras 35, 36 e 37.

Figura 52 – Rede de Petri da interação *Machine to Machine* entre empresas



Fonte: O autor

5.2.1 Análise da interação Machine to Machine entre empresas

Da mesma forma que para a interação M2M dentro de uma mesma empresa, essa seção busca analisar cada atividade e as respectivas interações internas (dentro dos níveis do eixo Camadas do RAMI 4.0) e entre Componentes I4.0 entre empresas distintas. Para análise são considerados os seguintes pontos:

- Não vão existir, dentro da empresa, Componentes I4.0 aptos para realizar o serviço solicitado;
- O Componente I4.0 que solicitou o serviço sempre vai aceitar uma das propostas enviadas para ele;

- O nível “Regra de Negócio”, nos **Componentes *Brokers*** de cada empresa, sempre vai permitir à empresa realizar o serviço solicitado;
- Na interação final no nível “Funcional”, onde o Componente I4.0 escolhido realiza o serviço, os Componentes I4.0 se comunicam cinco vezes antes do serviço ser finalizado. Essas informações estão presentes na Figura 52, com os artifícios simulados no nível de “Ativos” com o objetivo de incluir esses cinco ciclos de interação.

Para realizar a análise detalhada da Figura 52, cada parte é explicada separadamente. Com as atividades dos modelos criados no capítulo 4 incluídas ao lado das interações em rede de Petri. Dessa forma é possível analisar o que ocorre internamente nas atividades e as interações entre Componentes I4.0.

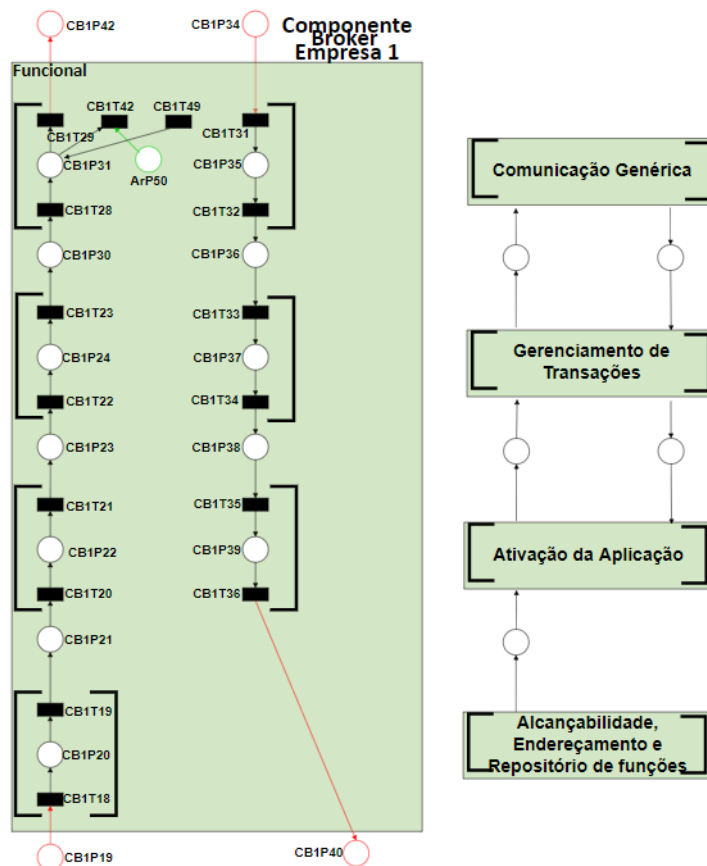
Para descrever cada parte da análise são utilizadas as Etapas descritas na introdução desse capítulo.

Etapa 1 M2M-EE

Como descrito no início desse capítulo e no modelo em PFS, a primeira parte da **Etapa 1 M2M-EE** é representada da mesma maneira que a (**Etapa 1 M2M-DE**). A diferença começa no **Componente *Broker* Empresa 1** especificamente na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (CB1T20-CB1T21), na Figura 53. Nela é identificado que não existe Componentes I4.0 aptos para realizar o serviço solicitado pelo **Componente 1 Empresa 1**. Nesse caso, é necessária uma interação com Componentes I4.0 fora da empresa. A interface com o [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) ocorre por CB1P30.

No [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (CB1T22-CB1T23) é encontrado o endereço do **Componente *Broker* de Negociação entre Empresas** e todas as informações sobre o serviço solicitado pelo **Componente 1 Empresa 1** são direcionadas para o envio, onde a interface com a [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) é definida por CB1P30.

Na [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (CB1T28-CB1T29) são identificados os padrões e protocolos necessários para o envio de informações seguras para o **Componente *Broker* de Negociação entre Empresas**. As transições CB1T42 e CB1T49 representam uma ponte para o nível de “Regra de Negócio”, que nesse caso as “regras” para troca de informações já estão estabelecidas e não precisarão ser acionadas. A interface para a interação pelo nível “Funcional” é realizada por CB1P42.

Figura 53 – Modelo no nível “Funcional” do **Componente 1** na interação M2M entre Empresas

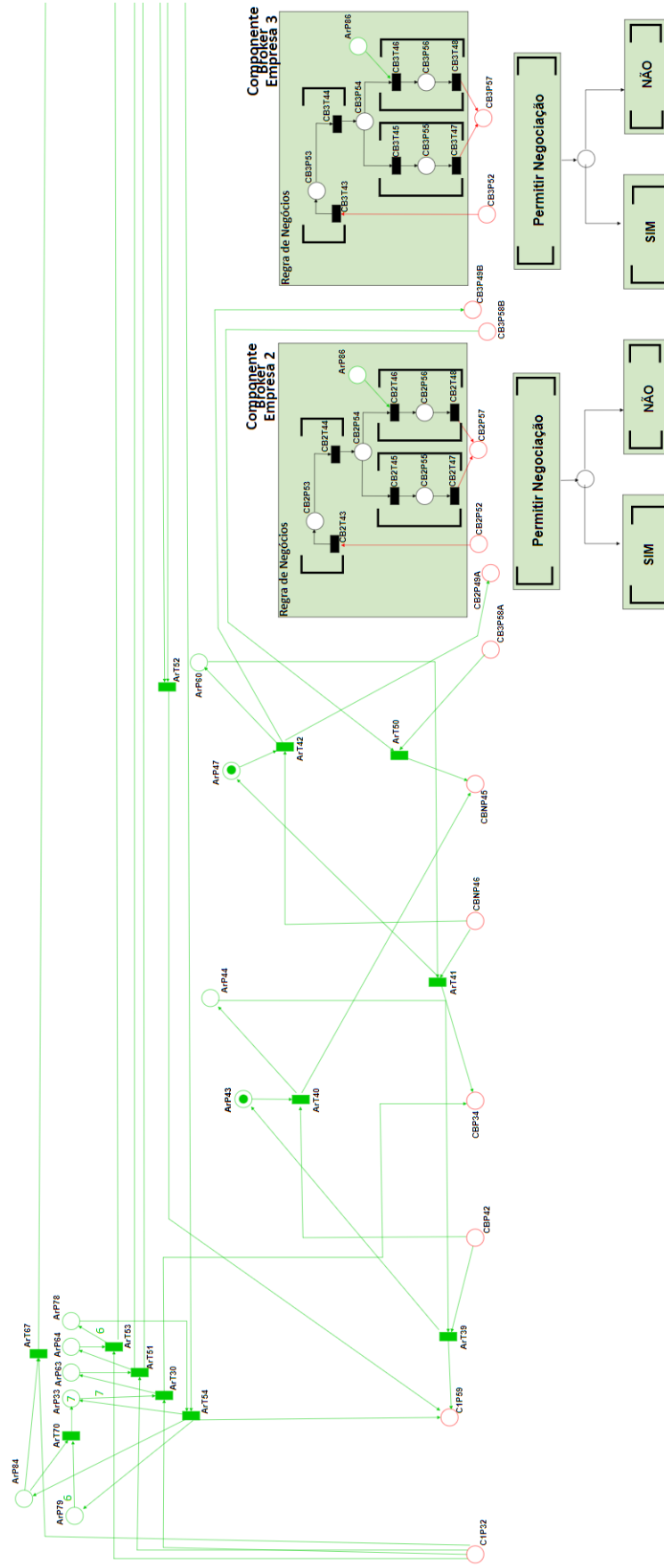
Fonte: O autor

Nesse instante da modelagem, os artifícios são utilizados para simular a interação correta entre Componentes I4.0. Estes são ilustrados na Figura 54 e a Tabela 9 relaciona como a mudança de “marcas” interfere na interação que está ocorrendo no processo. Na fase anterior, **ArP30** foi habilitada na comunicação do **Componente 1 Empresa 1** com o **Componente Broker Empresa 1**. Nessa segunda passagem, o objetivo é habilitar **ArT40** para tornar a interação entre o **Componente Broker Empresa 1** e o **Componente Broker de Negociação entre Empresas (CBN)** possível.

Após chegar no **Componente Broker de Negociação entre Empresas** pela [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (CBNT31-CBNT32) (Figura 55) ela detecta e corrige eventuais erros na interação e o [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (CBNT33-CBNT34) coleta as informações sobre o pedido solicitado pelo **Componente 1 Empresa 1**.

Com as informações coletadas e enviadas para a [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (CBNT35-CBNT36) pela interface **CBNP38**, são definidas possíveis soluções para serem procuradas no nível de “Informação” para resolver o serviço solicitado pelo **Componente 1 Empresa 1**. Essas possíveis soluções são enviadas pela interface **CBNP40**.

Figura 54 – Artífícios para interação entre Componentes I4.0 entre Empresas no nível de “Regra de Negócio” do Componente *Broker Empresa 2* e Componente *Broker Empresa 3*



Fonte: O autor

Tabela 9 – Artífícios usados para habilitar interações

Estado dos Lugares										Habilitação das Interações
ArP33	ArP43	ArP44	ArP47	ArP60	ArP63	ArP64	ArP78	ArP79	ArP84	
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Habilita Art30 para interação do Componente 1 Empresa 1 com o Componente <i>Broker</i> Empresa 1
○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	Habilita Art40 para interação do Componente <i>Broker</i> Empresa 1 com o Componente <i>Broker</i> de Negociação entre Empresas
○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	Habilita Art39 para interação do Componente <i>Broker</i> Empresa 1 com o Componente 1 Empresa 1
○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	Habilita Art42 para a interação do Componente <i>Broker</i> de Negociação entre Empresas e os Componentes <i>Brokers</i> 2 e 3
○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	Habilita Art41 para interação do Componente <i>Broker</i> entre Empresas e o Componente <i>Broker</i> Empresa 1
○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	Habilita Art51 para interação do Componente 1 Empresa 1 e os Componentes 2 e 3 Empresa 3
○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	Habilita Art53 para interação do Componente 1 Empresa 1 para o Componente selecionado para o serviço (Componente 3 Empresa 3)
○	○	○	○	○	○	○	6	○	○	Habilita Art54 para seis interações entre o Componente 3 Empresa 3 e o Componente 1 Empresa 1, sendo uma para a negociação e cinco para os ciclos de serviços
○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	Habilita Art67 para a última Etapa de interação do Componente 1 Empresa 1 e o Componente 3 e Empresa 3.
○	○	○	○	○	○	○	○	6	●	Habilita Art70 para iniciar o estado inicial de simulação com sete marcas em ArP33

Fonte: O autor

A princípio, todos *logs* de interação, assim como informações do **Componente 1 Empresa 1** e o serviço solicitado são armazenados na **[Retenção de dados e Histórico]** (3.2.4.3)(CBNT37-CBNT38) na Figura 56. Posteriormente, tudo que foi selecionado como prioridade na **[Ativação da Aplicação]** (3.2.5.1) é disponibilizado na **[Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados]** (3.2.4.1) (CBNT11 e CBNT12). Nela as transições habilitadas estão definidas na Tabela 10, sendo **ArP14** usado para permitir apenas o disparo de **CBNT12**, que fornece a interação com o nível “Funcional” pela interface **CBNP32**.

Retornando ao nível “Funcional” pela Figura 55, funções são criadas pela **[Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de funções]** (3.2.5.4) (CBNT18-CBNT19) para utilização na **[Ativação da Aplicação]** (3.2.5.1) (CBNT20-CBNT21), que define quais empresas poderiam resolver o serviço solicitado pelo **Componente 1 Empresa 1**. Existe a possibilidade de nenhuma empresa possuir a capacidade de resolver o serviço, nesse caso as informações retornam ao **Componente 1 Empresa 1** e deve ser comunicado ao **Componente 1 Empresa 1** que não há Componentes I4.0 aptos. Contudo, essa situação não está no escopo do projeto.

O endereço do **Componente Broker** de cada Empresa é identificado e são organizadas para transações de solicitação e resposta de informações pelo **[Gerenciamento de Transações]** (3.2.5.3) (CBNT22-CBNT23), para enfim os protocolos serem definidos e a informação enviada

Tabela 10 – Eventos após as transições serem ativadas no nível de “Informação” na Interação M2M entre empresas

Transição	Acontecimento
CxT12	Disponibiliza Informações para o nível "Funcional"
CxT13	Disponibiliza Informações para o nível "Funcional" e os níveis Inferiores
CxT14	Disponibiliza Informações para o níveis Inferiores
CxT15	Disponibiliza Informações para os níveis Superiores (Etapa 3 M2M-EE)
CxT16	Disponibiliza Informações para os níveis Inferiores (Etapa 3 M2M-EE)

Fonte: O autor

pela [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (CBNT28-CBNT29), para os Componentes *Brokers* das empresas aptas e disponíveis.

Retornando para a Figura 54 e a Tabela 9, com **ArP47** marcada, **ArT42** é habilitada para interação do Componente *Broker De Negociação entre Empresas* e com os Componentes *Brokers das Empresas 2 e 3*.

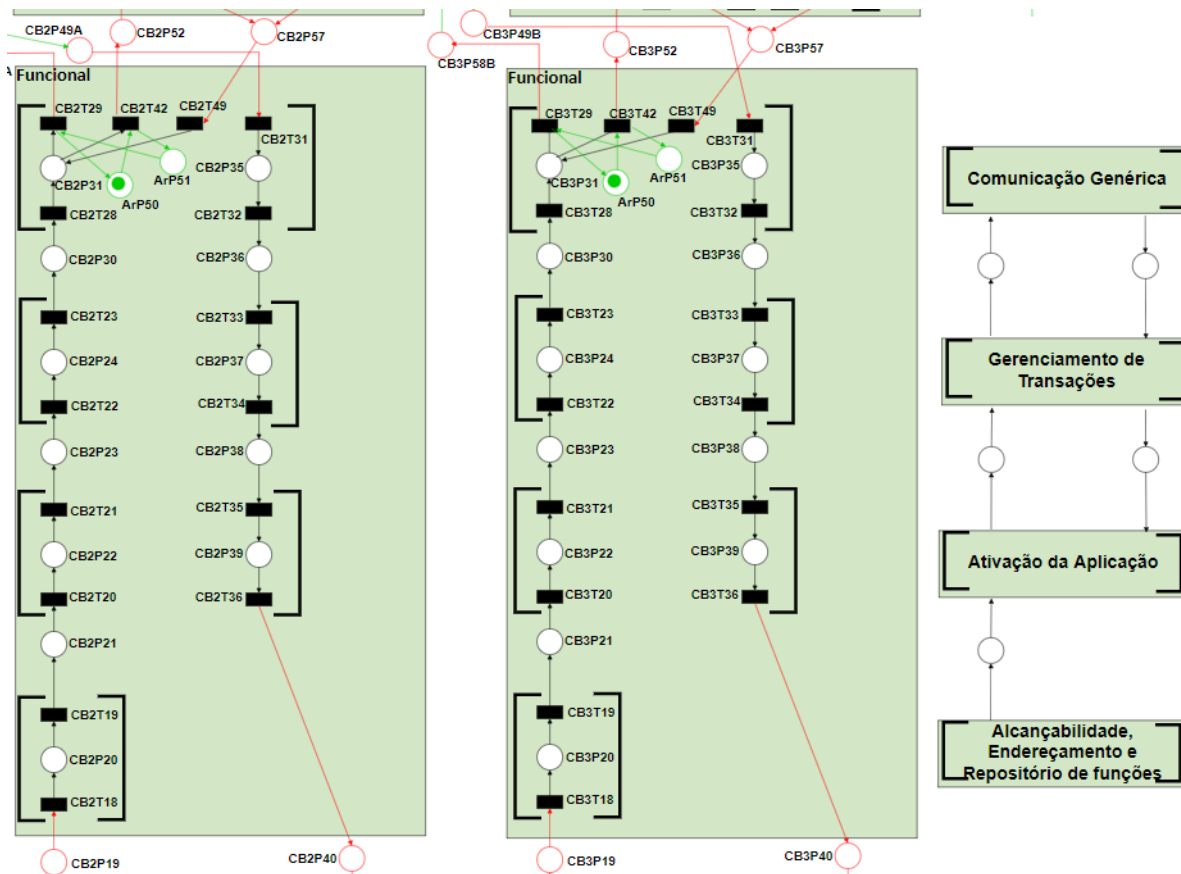
As interfaces para a [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (CB2T31-CB2T32) (CB3T31-CB3T32) dos Componentes *Brokers das Empresas 2 e 3* estão em **CB2P49A** e **CB3P49B**, respectivamente.

Na Figura 57, ambos Componentes I4.0 no nível “Funcional” são ilustrados, onde na [Comunicação Genérica] (3.2.5.2) (CB2T31-CB2T32) (CB3T31-CB3T32) ocorre a correção de erros na interação; no [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (CB2T33-CB2T34) (CB3T33-CB3T34), as informações são coletadas; e na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (CB2T35-CB2T36) (CB3T35-CB3T36) os possíveis requisitos para resolver o serviço solicitado são listados e enviados para o nível de “Informação” para buscar quais Componentes I4.0 estão aptos para realizar o serviço em cada empresa. As interfaces para o nível de “Informação” são criadas a partir de **CB2P40** e **CB3P40**.

No nível de “Informação” na Figura 58, os *logs* de comunicação e informações do Componente 1 Empresa 1 são armazenados na [Retenção de dados e Histórico] (3.2.4.3)(CB2T37-CB2T38) (CB3T37-CB3T38). Na sequência, a [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] (3.2.4.1) (CB2T11 e CB2T12) (CB3T11 e CB3T12) disponibiliza as

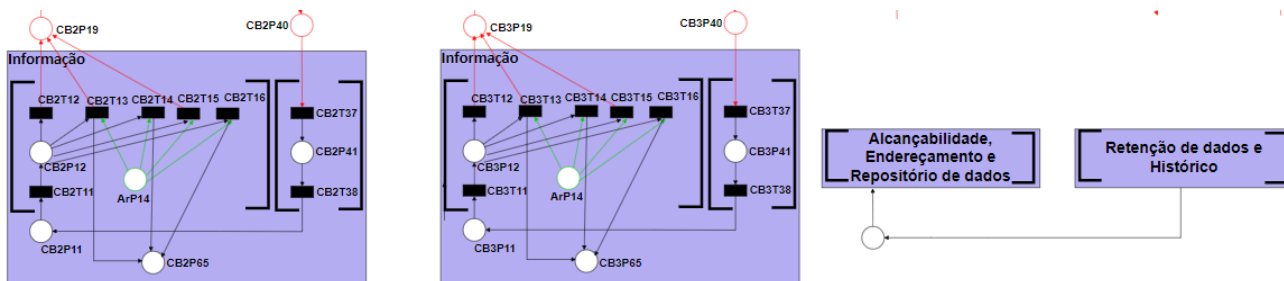
informações dos Componentes I4.0 aptos para o serviço, de cada empresa, e suas respectivas funcionalidades.

Figura 57 – Modelo no nível “Funcional” do Componentes *Broker Empresa 2* e *Broker Empresa 3* na interação M2M entre Empresas



Fonte: O autor

Figura 58 – Modelo no nível de “Informação” dos Componentes *Broker Empresa 2* e *Broker Empresa 3* na interação M2M entre Empresas



Fonte: O autor

Retornando ao nível “Funcional” e à Figura 57 pelas interfaces **CB2P19** e **CB3P19**, na [Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções] (3.2.5.4) (**CB2T18-CB2T19**) (**CB3T18-CB3T19**) funções são criadas para utilização na [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1)

(**CB2T20-CB2T21**) (**CB3T20-CB3T21**), que dentre as opções disponibilizadas define quais Componentes I4.0 atendem os requisitos solicitados pelo **Componente 1 Empresa 1**.

Na sequência, as informações sobre os Componentes I4.0 aptos e disponíveis em cada Empresa são enviadas para o [**Gerenciamento de Transações**] (**3.2.5.3**) (**CB2T22-CB2T23**) (**CB3T22-CB3T23**), que cria transações de solicitação e resposta de informações para o **Componente Broker de Negociação entre Empresas** com todas as informações necessárias para envio. Na [**Comunicação Genérica**] (**3.2.5.2**) (**CB2T28-CB2T42**) (**CB3T28-CB3T42**), antes das informações retornarem para o **Componente Broker de Negociação entre Empresas**, estas devem passar pelo nível “Regra de Negócio”. Isto é necessária para verificar possíveis violações de leis, operações ou outras razões que impeçam a interação M2M, sendo particular de cada Empresa. Os artifícios **ArP50** e **ArP51** tornam a interação possível pelas interfaces **CB2P52** e **CB3P52**.

A “Regra de Negócio” de ambos os Componentes I4.0 é representado na Figura 54, onde a primeira atividade [**Permitir Negócio**] (**CB2T43-CB2T44**) (**CB3T43-CB3T44**) identifica que tipos de negociações estão sendo feitas, assim como se o serviço solicitado pelo **Componente 1 Empresa 1** não fere alguma norma da empresa. Para que as duas Empresas permitam a interação, foi utilizado o artifício **ArP86**, essa situação serve para evitar que as duas empresas recusem o serviço e nenhuma empresa esteja apta, caso que não está no escopo do projeto. Com a confirmação da negociação realizada pela atividade [**SIM**] (**CB2T45-CB2T47**) (**CB3T45-CB3T47**), as informações são direcionadas para as interfaces **CB2P57** e **CB3P57** com o nível “Funcional”.

Novamente no nível “Funcional” (Figura 57), as informações são enviadas para a [**Comunicação Genérica**] (**3.2.5.2**) (**CB2T49-CB2T29**) (**CB3T49-CB3T29**) de cada **Componente Broker** e direcionadas para o **Componente Broker de Negociação entre Empresas**.

A interação continua pela Figura 54, onde a transição **ArT50** necessita das informações vindas de cada **Componente Broker** para ser habilitada e retornar para **Componente Broker de Negociação entre Empresas**.

Com as Figuras 55 e 56 e voltando para a os níveis internos da **Componente Broker de Negociação entre Empresas**, nessa fase as atividades buscam refinar a seleção das propostas apresentadas e, se necessário, excluir algumas delas caso esteja em desacordo com os requisitos solicitados pelo **Componente 1 Empresa 1**.

Iniciando na Figura 55 com a [**Comunicação Genérica**] (**3.2.5.2**) (**CBNT31-CBNT32**), que fornece a ponte entre Componentes I4.0 e possíveis correções de erros; passando pelo

[**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (CBNT33-CBNT34), que coleta as informações e finaliza a interação com os **Componentes Brokers 2 e 3**; depois pela [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (CBNT35-CBNT36), que define quais tipos de informações devem ser disponibilizadas no nível de “Informação”; e sendo finalizada com a interface com o nível de “Informação” realizada por **CBNP40**.

Na Figura 56 os *logs* de comunicação e as informações advindas de outros Componentes I4.0 são armazenadas na [**Retenção de dados e Histórico**] (3.2.4.3)(CBNT37-CBNT38); e as informações definidas como prioritárias na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) são disponibilizadas na [**Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) (CBNT11 e CBNT12). Com a interface com o nível “Funcional” sendo gerada por **CBNP19**.

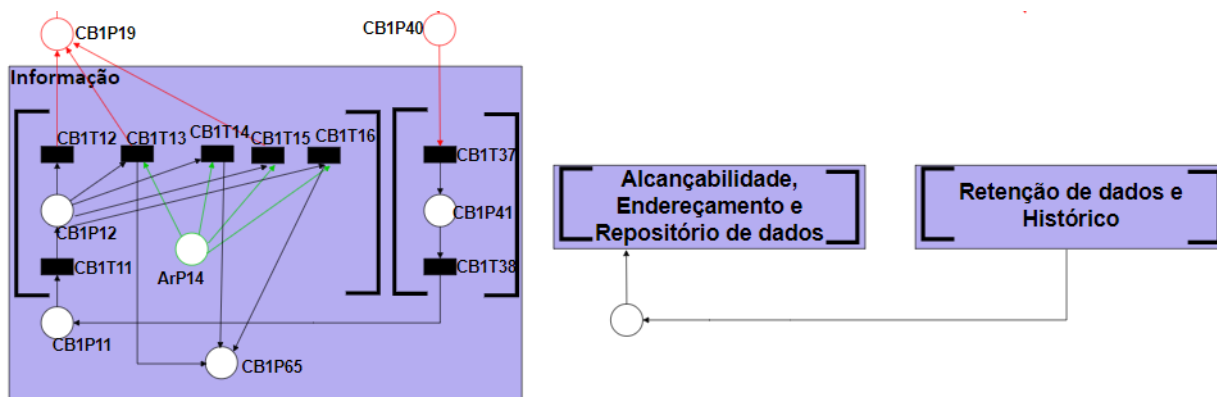
Retornando ao nível “Funcional” (Figura 55), funções são criadas e editadas na [**Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de funções**] (3.2.5.4) (CBNT18-CBNT19) para utilização na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (CBNT20-CBNT21), que compara as propostas dos Componentes I4.0 com o serviço solicitado, caso algumas das propostas estejam diferentes dos requisitos solicitados para o serviço, ela pode ser excluída nessa fase. Após isso, o [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (CBNT22-CBNT23) armazena as informações necessárias e as prepara para envio, que é só realizada na [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (CBNT28-CBNT29).

Novamente na Figura 54 e utilizando a Tabela 9 como referência, o objetivo é utilizar a “marca” presente em **ArP44** para habilitar **ArT41** para a interação do **Componente Broker de Negociação entre Empresas** e o **Componente Broker Empresa 1**.

Nessa fase as descrições das atividades presentes nas Figuras 53 e 61, no **Componente Broker Empresa 1**, têm a mesma função que as definidas no **Componente Broker de Negociação entre Empresas**, apenas com critérios mais rigorosos para excluir propostas de outros Componentes I4.0 que não se enquadram nos requisitos solicitados pelo **Componente 1 Empresa 1**. Na atividade [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (CBNT28-CBNT29) ocorre a ponte entre o **Componente Broker Empresa 1** e o **Componente 1 Empresa 1**.

Com a Figura 54 e a Tabela 9, o artifício **ArP60** é usado para habilitar a transição **ArT39** e assim, realizar a interação do **Componente Broker Empresa 1** com o **Componente 1 Empresa 1**. Com essa sendo a última fase da **Etapa 1 M2M-EE**.

Figura 59 – Modelo no nível de “Informação” do **Componente Broker Empresa 1** na interação M2M entre Empresas



Fonte: O autor

Etapa 2 M2M-EE

A **Etapa 2 M2M-EE** é representada de forma igual à **Etapa 2 M2M-DE**. A diferença está no fato que o **Componente 1 Empresa 1** deve interagir com Componentes I4.0 de outras empresas.

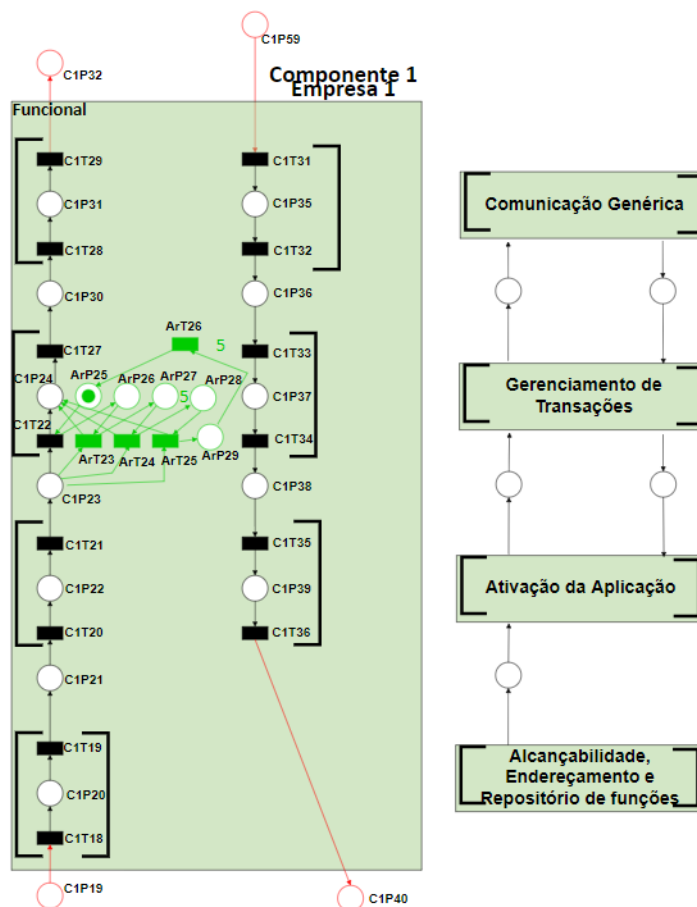
Nas Figuras 60 e 61, a primeira fase dessa Etapa é representada, onde os artifícios são usados para identificar a interação do **Componente 1 Empresa 1** com os **Componentes 2 e 3 da Empresa 3** na [**Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) (**C1T11-C1T12**) (Figura 63), a definição de como os artifícios habilitam novas interações está representado na Tabela 11.

Na Figura 60, os artifícios são usados para identificar o atual estado da interação no [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (**C1T22-C1T27**). Esses artifícios não interferem no funcionamento dos processos, apenas demonstram em que fase a simulação está; estes são mais bem detalhados na Tabela 12.

Após a passagem pelas Figuras 60 e 61 com todas as atividades com as mesmas funcionalidades da **Etapa 2 M2M-DE**, na [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (**C1T28-C1T29**) a informação contendo os novos requisitos para o serviço são enviados para os Componentes I4.0 aptos, que no caso da Figura 52, são os **Componentes 2 e 3 Empresa 3**.

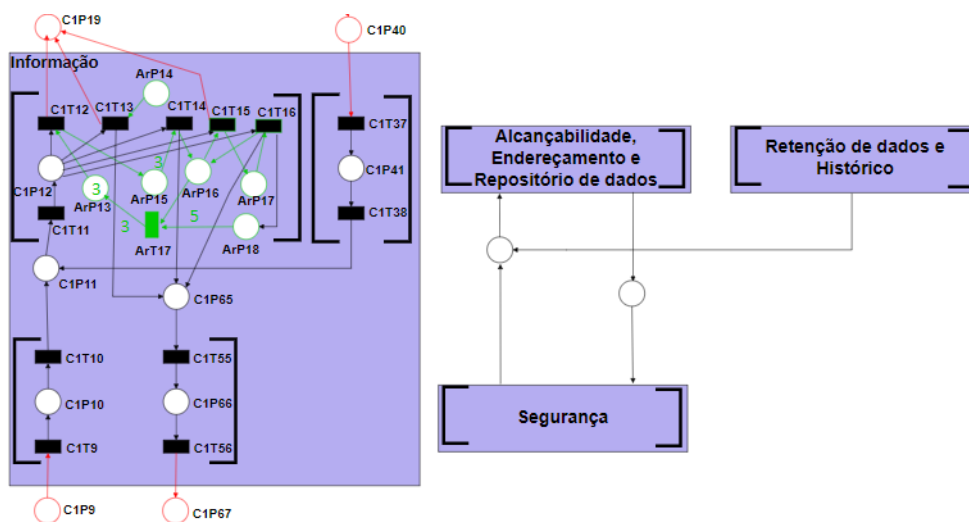
Retornando a Figura 54 e a Tabela 9, é necessário habilitar **ArT51** com uma “marca” de **ArP63**, para a interação do **Componente 1 Empresa 1** com os **Componentes 2 e 3 da Empresa 3**.

Figura 60 – Modelo no nível “Funcional” do **Componente 1 Empresa 1** na interação M2M entre Empresas



Fonte: O autor

Figura 61 – Modelo no nível de “Informação” do **Componente 1 Empresa 1** na interação M2M entre Empresas



Fonte: O autor

Tabela 11 – Comportamento interno na [Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] do Componente 1 Empresa 1

Estado dos Lugares						Interações
ArP13	ArP14	ArP15	ArP16	ArP17	ArP18	
						Habilita C1T12 para interação com o Componente <i>Broker Empresa 1</i>
						Habilita C1T12 para interação do Componente 1 Empresa 1 com os Componentes 2 e 3 Empresa 3
						Habilita C1T12 para interação do Componente 1 Empresa 1 com o Componente 3 Empresa 3
						Habilita C1T14 para acesso aos níveis inferiores
						Habilita C1T15 para acesso aos níveis superiores na última Etapa da interação pelo nível "Funcional"
						Habilita C1T16 para acesso aos níveis inferiores na última Etapa da interação pelo nível "Funcional"
						Habilita ArT17 para retornar ao estágio inicial de simulação com todas condições satisfeitas

Fonte: O autor

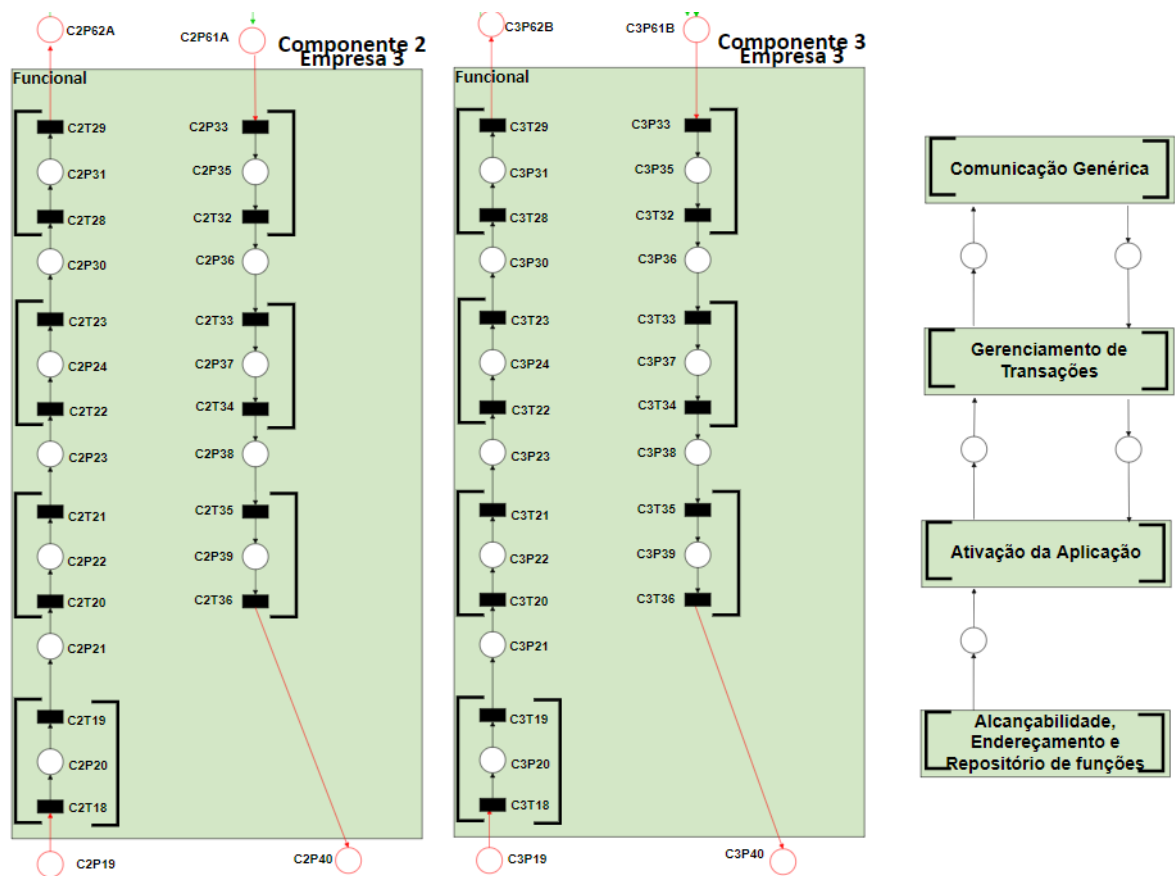
Tabela 12 – Comportamento interno no [Gerenciamento de Transações] do Componente 1 Empresa 1

Estado dos Lugares					Interações
ArP25	ArP26	ArP27	ArP28	ArP29	
					Interação do Componente 1 Empresa 1 com o Componente <i>Broker Empresa 1</i>
					Interação do Componente 1 Empresa 1 com os Componentes 2 e 3 Empresa 3
					Interação do Componente 1 Empresa 1 com o Componente 3 Empresa 3
					Interação entre o Componente 1 Empresa 1 e o Componente 3 Empresa 3 com cinco ciclos
					Retorno a posição inicial de simulação com todas as condições satisfeitas

Fonte: O autor

Nas Figuras 62 e 63 estão as atividades de dois Componentes I4.0 aptos e disponíveis. Como descrito na **Etapa 2 M2M-DE**, o objetivo é adequar as necessidades dos novos requisitos sugeridos pelo **Componente 1 Empresa 1**. A diferença está relacionada aos artifícios, que simulam as interações existentes durante toda a modelagem, encontrados na [**Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) (C3T11-C3T12). Na Tabela 13 está uma descrição detalhada do que acontece em cada momento da análise para cada mudança de “marca”.

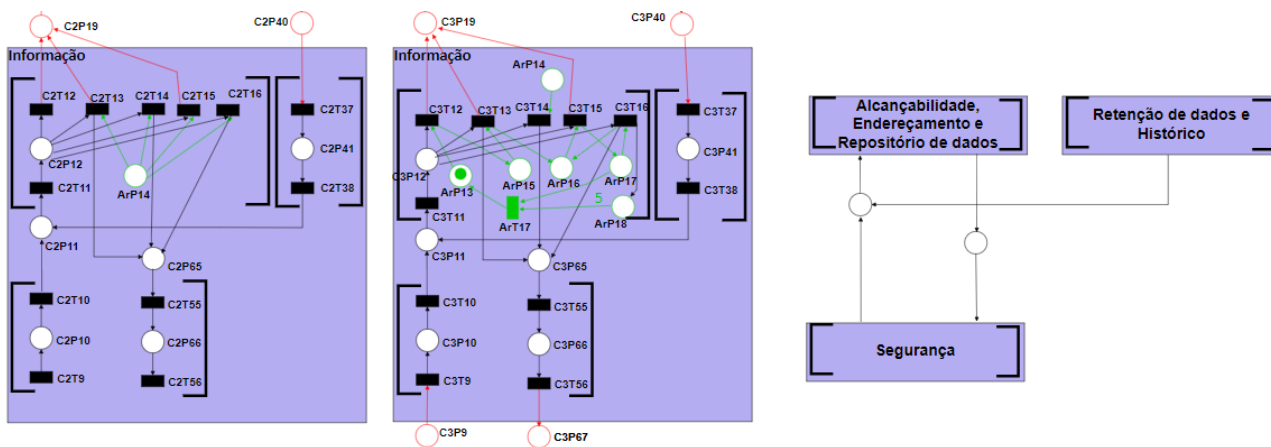
Figura 62 – Modelo no nível “Funcional” do **Componente 2 Empresa 3** e do **Componente 3 Empresa 3** na interação M2M entre Empresas



Fonte: O autor

Com os novos requisitos sendo solicitados, os **Componentes 2 e 3 da Empresa 3** enviam, pela [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (C2T28-C2T29) (C3T28-C3T29), novas listas contendo meios para resolver o serviço. Com a Figura 64 é possível chegar novamente no **Componente 1 Empresa 1** habilitando **ArT52** e terminar a **Etapa 2 M2M-EE**.

Figura 63 – Modelo no nível de “Informação” do Componente 2 Empresa 3 e do Componente 3 Empresa 3 na interação M2M entre Empresas



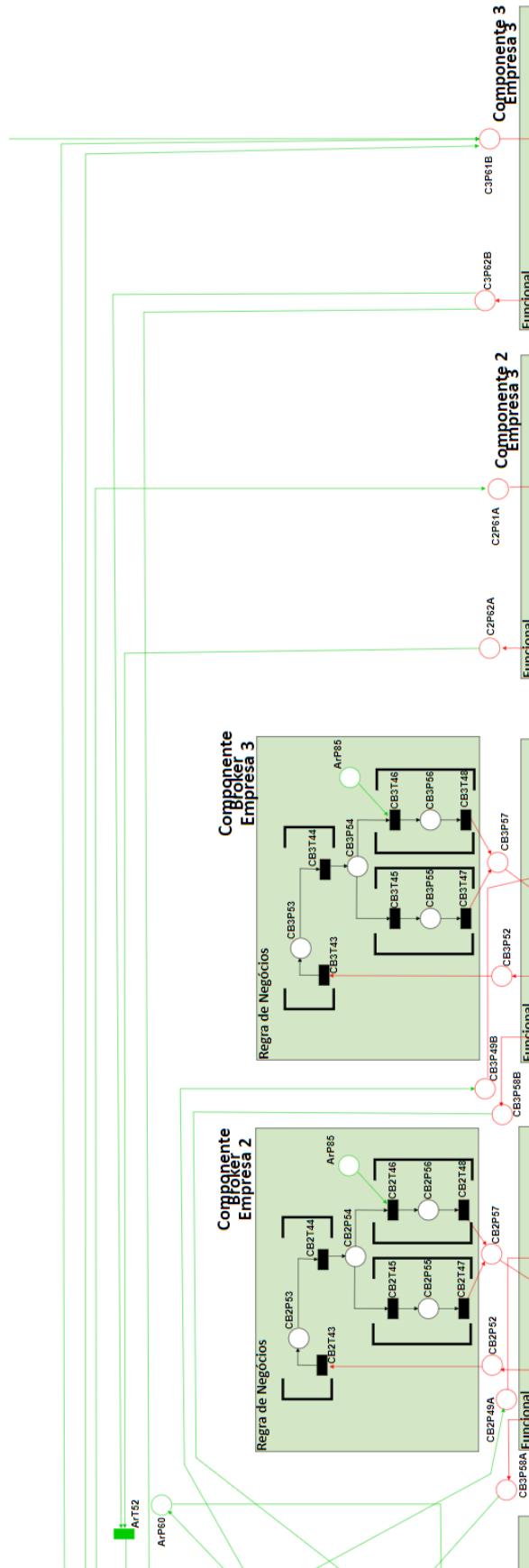
Fonte: O autor

Tabela 13 – Comportamento interno na [Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] do Componente 3 Empresa 3

Estado dos Lugares						Interações
ArP13	ArP14	ArP15	ArP16	ArP17	ArP18	
						Habilita C3T12 para interação do Componente 3 Empresa 3 com o Componente 1 Empresa 1
						Habilita C3T13 para interação do Componente 3 Empresa 3 com o Componente 1 Empresa 1 e com os níveis inferiores
						Habilita C3T15 para interação do Componente 3 Empresa 3 com o Componente 1 Empresa 1 (Etapa 3 M2M-EE)
						Habilita C3T16 para interação do Componente 3 Empresa 3 com os níveis inferiores (Etapa 3 M2M-EE)
						Habilita ArT17 para retornar ao estágio inicial de simulação com todas condições satisfeitas

Fonte: O autor

Figura 64 – Artifícios utilizados para a interação dos Componentes 2 e 3 da Empresa 1 e o Componente 3 da Empresa 3



Fonte: O autor

Etapa 3 M2M-EE

Com o retorno das propostas realizadas por cada Componente I4.0 na **Etapa 3 M2M-EE**, ocorre a definição do Componente I4.0 que melhor se adequou ao serviço solicitado, posterior negociação pelo nível “Funcional” e por último à realização do serviço com a interação ocorrendo sempre pelo nível “Funcional”, como descrito na seção 4.2.3, e sendo denominada integração horizontal.

Novamente no **Componente 1 Empresa 1** na Figura 60, a [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (C1T28-C1T29) detecta e corrige eventuais erros na interação; o [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (C1T33-C1T34) coleta todas as informações advindas dos **Componentes 2 e 3** e em seguida finaliza a interação; e a [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (C1T35-C1T36) define qual Componente I4.0 melhor atendeu aos requisitos do serviço solicitado, que no caso do exemplo foi o **Componente 3 Empresa 3**. A interface pelo nível de “Informação” ocorre a partir de **C1P40**.

Na Figura 61 e na [**Retenção de dados e Histórico**] (3.2.4.3)(C1T37-C1T38), as informações dos outros Componentes I4.0 e de *logs* de interação são armazenados; e na [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) (C1T11 e C1T12) são disponibilizadas informações para novas solicitações que devem ser enviadas para o **Componente 3 Empresa 3**. Usando como referências as Tabelas 11 e 12, pode-se habilitar **C1T12** para interação do **Componente 1 Empresa 1** com o **Componente 3 Empresa 3**.

Retornando a Figura 60 e ao nível “Funcional” por **C1P19**, funções são criadas na [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções**] (3.2.5.4) (C1T18-C1T19), para utilização dessa interface na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (C1T20-C1T21), que define novos questionamentos para serem resolvidos na fase de negociação entre o **Componente 1 Empresa 1** e o **Componente 3 Empresa 3**.

Endereços para interação são definidos e informações são preparadas para envio no [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (C1T22-C1T27) que, seguindo a Tabela 11, o objetivo é a interação do **Componente 1 Empresa 1** com o **Componente 3 Empresa 3**. Por fim, a [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (C1T28-C1T29) envia todas as informações contendo as novas solicitações.

Os artifícios servem para simular a interação do **Componente 1 Empresa 1** com o **Componente 3 Empresa 3**. A Figura 54 ilustra as interações possíveis, onde na Tabela 9 demonstrada

na “marca” de **ArP64**, habilita **ArT53** e depois as informações chegam no **Componente 3 Empresa 3**.

Na Figura 62 é demonstrada novamente as atividades no nível “Funcional” do **Componente 3 Empresa 3**, onde a [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (C3T31-C3T32) identifica os eventuais erros na interação e os corrige; o [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (C3T33-C3T34) coleta as informações; e a [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (C3T35-C3T36) define quais informações devem ser disponibilizadas no nível de “Informação” para que as novas solicitações do **Componente 1 Empresa 1** possam ser cumpridas e o serviço se inicie. Com a interface gerada por **C3P40** é possível chegar no nível de “Informação”.

Na Figura 63 a [**Retenção de dados e Histórico**] (3.2.4.3)(C3T37-C3T38) armazena as informações de *logs* e informações do **Componente 1 Empresa 1**, em seguida a [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) (C3T11 e C3T12) disponibiliza informações de como as solicitações podem ser cumpridas. A partir disso, **C3T13** habilita a interação com os níveis inferiores e superiores, como ilustrado na Tabela 10. As informações enviadas para os níveis superiores são necessárias para mostrar para o **Componente 1 Empresa 1** que a fase de negociação foi finalizada e que todos os requisitos para o início do serviço foram cumpridos. As informações enviadas para os níveis inferiores são utilizadas para configurar o **Componente 3 Empresa 3** no nível de “Ativos” e esperar novas informações advindas do **Componente 1 Empresa 1**.

Iniciando as explicações pelo nível superior. As informações são enviadas para o nível “Funcional”, onde a [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de funções**] (3.2.5.4) (C3T18-C3T19) fornece a criação de funções para utilização na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (C3T20-C3T21), que lista quais tipos de serviços serão realizados inicialmente e define novos questionamentos para serem buscados no **Componente 1 Empresa 1** para as próximas partes do serviço. Essas informações são preparadas para envio no [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (C3T24-C3T25) e enviadas para a [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (C3T28-C3T29).

A Figura 54 e a Tabela 9 descrevem o retorno para o **Componente 1 Empresa 1**, onde uma “marca” de **ArP64** habilita **ArT54** para a interação do **Componente 3 Empresa 3** com o **Componente 1 Empresa 1**. Analisando a Figura 54 é observado que ainda restam cinco “marcas” em **ArP64**. E representam os cinco ciclos de interação que serão realizados e posteriormente serão explicados.

Novamente a [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (C1T31-C1T32) do **Componente 1 Empresa 1** (Figura 60), detecta e corrige os eventuais erros; segue no [**Gerenciamento de Transações**] (3.2.5.3) (C1T33-C1T34), que coleta as informações advindas do **Componente 3 Empresa 3**; e termina na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) (C1T20-C1T21), que define as informações prioritárias para serem buscadas no nível de “Informação” para configurar o **Componente 1 Empresa 1** no nível de “Ativos”.

Na sequência (Figura 61), a [**Retenção de dados e Histórico**] (3.2.4.3)(C1T37-C1T38) armazena os *logs* e as novas informações vindas do **Componente 3 Empresa 3** e a [**Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] (3.2.4.1) (C1T11-C1T14), disponibiliza as informações relevantes identificadas na [**Ativação da Aplicação**] (3.2.5.1) onde o objetivo é habilitar portas e ajustar configurações com as informações advindas do **Componente 3 Empresa 3**. Para isso, informações devem ser acessadas nos níveis inferiores, que são liberadas com a habilitação de C1T14 na Tabela 10 e Tabela 11, quando três “marcas” de ArP15 são consumidas para acesso aos níveis inferiores.

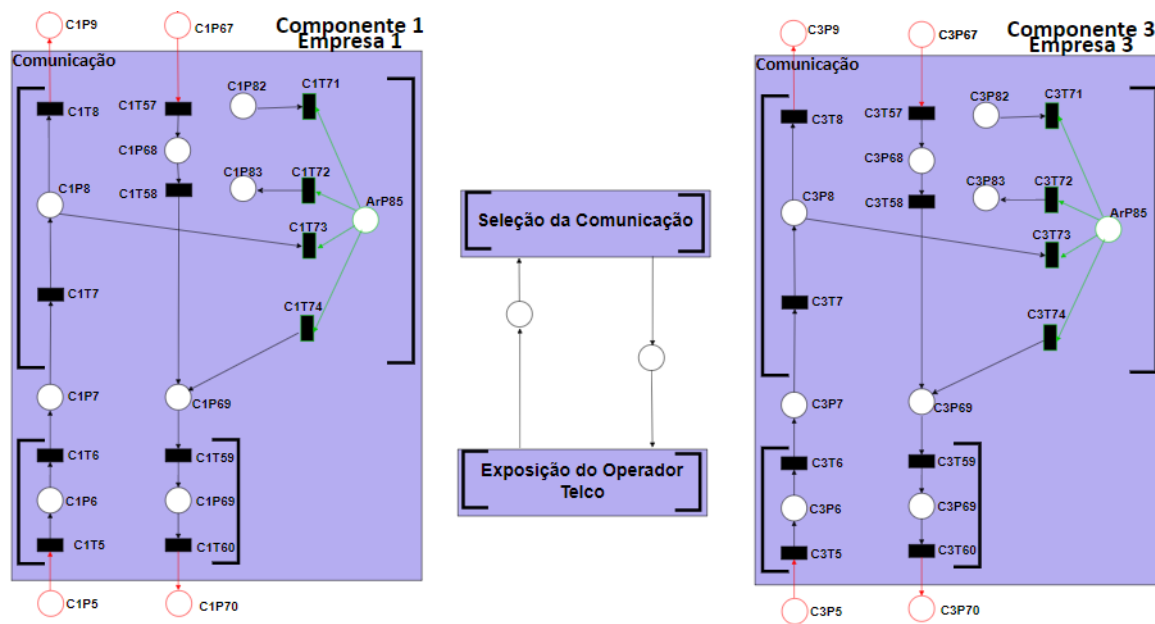
Para que as informações não sejam perdidas ou corrompidas, a [**Segurança**] (3.2.4.2) (C1T55-C1T56) (C3T55-C3T56), as Figuras 61 e 63 respectivamente, definem padrões para que as informações possam ser disponibilizadas para os níveis inferiores com segurança. Essas informações seguras são enviadas para o nível de “Comunicação” por C1P67 e C3P67.

Nesse estágio as informações percorrem os níveis de “Comunicação” de ambos Componentes I4.0 e a ilustração é demonstrada na Figura 65, onde a [**Seleção da Comunicação**] (3.2.3.1) (C1T57-C1T58) (C3T57-C3T58) define um caminho para a interação com os níveis inferiores. Na interação M2M entre empresas, a interação pelo nível de “Comunicação” não existe, por isso as transições e lugares estão desativados. Com isso, a [**Exposição do operador Telco**] (3.2.3.2) (C1T59-C1T60) e (C3T59-C3T60) fornece os meios para converter as informações da rede externa para rede local de comunicação criando as interfaces C1P70 e C3P70.

A Figura 66 descreve o nível de “Integração” contendo a atividade [**Gerenciamento Remoto da Entidade**] (3.2.2.1) (C1T61-C1T62) e (C3T61-C3T62), que converte as informações vindas do nível de “Integração” configurando e atualizando procedimentos para acesso ao nível de “Ativos”.

A Figura 67 descreve o serviço sendo realizado pelo **Componente 3 Empresa 3**, o [**Ativo 3 avalia as informações**] e inicia o serviço a ser prestado no nível de “Ativos”. O número de ciclos de interações podem variar conforme o problema, porém considera-se neste exemplo que

Figura 65 – Modelo no nível de “Comunicação” do **Componente 1 Empresa 1** e do **Componente 3 Empresa 3** na interação M2M entre Empresas



Fonte: O autor

Figura 66 – Modelo no nível de “Integração” do **Componente 1 Empresa 1** e do **Componente 3 Empresa 3** na interação M2M entre Empresas



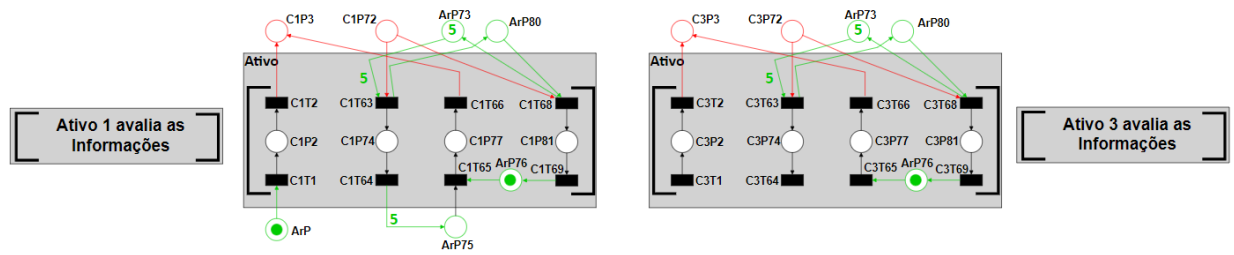
Fonte: O autor

na simulação, por meio do artifício **ArP75**, os Componentes I4.0 devem interagir cinco vezes para finalizar o serviço solicitado.

No **Componente 3 Empresa 3** a primeira fase define que (**C3T63-C3T64**) receberá as informações, realizar a etapa inicial do serviço e esperar novas solicitações.

No **Componente 1 Empresa 1**, representado por [**Ativo 1 avalia as informações**], a primeira fase define que (**C1T63-C1T64**) irá atualizar informações e solicitar novos procedimentos (**C1T65-C1T66**). Após isso, sinais de sensores enviam informações para o nível de “Integração” por meio de **C1P3**.

Figura 67 – Modelo no nível de “Ativo” do **Componente 1 Empresa 1** e do **Componente 3 Empresa 3** na interação M2M entre Empresas



Fonte: O autor

Retornando na Figura 66, atualizações são feitas, sistemas são configurados e as informações são convertidas do físico para o digital no [Gerenciamento Remoto da Entidade] (3.2.2.1) (C1T3-C1T4) e (C3T3-C3T4).

Na Figura 65 o [Exposição do operador Telco] (3.2.3.2) (C1T15-C1T16) e (C3T15-C3T16) oferece o suporte para converter as informações locais para externas e a [Seleção da Comunicação] (3.2.3.1) (C1T7-C1T8) (C3T7-C3T8) fornece o caminho para que essas informações sejam enviadas para o nível de “Informação”, criando as interfaces C1P9 e C3P9.

Nas Figuras 61 e 63 a [Segurança] (3.2.4.2) (C1T9-C1T10) (C3T9-C3T10) fornece o meio para que tudo que foi retirado do nível de “Ativos” seja armazenado de forma segura. Na [Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados] (3.2.4.1) (C1T11 e C1T15) (C3T11 e C3T15), essas informações são armazenadas e disponibilizadas para os níveis superiores.

Ainda nas Figuras 61 e 63 e também na Tabela 10, as transições C1T15 e C3T15 permitem enviar informações para os níveis superiores; e C1T16 e C3T16 permitem enviar informações para os níveis inferiores. Nela, o acúmulo de “marcas” em ArP18 está relacionado a quantidade de ciclos realizados. No final, ArT17 consome todas as marcas de ArP18 e a simulação retorna ao seu estado inicial.

No nível “Funcional” do **Componente 1 Empresa 1** (Figura 60) e do **Componente 3 Empresa 3** (Figura 62), funções são criadas para a [Ativação da Aplicação] (3.2.5.1) (C1T20-C1T21) (C3T20-C3T21), que com as informações disponíveis envia novas solicitações.

O [Gerenciamento de Transações] (3.2.5.3) (C1T22-C1T27) (C3T22-C3T27) prepara as informações para serem enviadas. No **Componente 1 Empresa 1** os artifícios, como mostrados na Tabela 12, definem cinco ciclos de interação entre o **Componente 1 Empresa 1** e o

Componente 3 Empresa 3. Por fim, a [**Comunicação Genérica**] (3.2.5.2) (C1T28-C1T29) (C1T28-C1T29) envia as informações de cada Componente I4.0.

Todas as interações descritas anteriormente, segundo a simulação, ocorrem cinco vezes até que o serviço seja finalizado. Com todas as “marcas” retornando ao seu estágio inicial.

5.3 *Discussão sobre os resultados obtidos*

A modelagem Funcional em RdP desenvolvida buscou detalhar o modelo conceitual criado em PFS, que foi desenvolvido para mapear as funções M2M no eixo Camadas do RAMI 4.0. Como o modelo é muito grande foi necessário dividir em partes, contando com o fato dos “módulos” possuírem interfaces bem definidas. A partir da análise dos modelos foi possível verificar por simulação e validar os comportamentos previstos, identificando a inexistência de *deadlocks*, confirmando a segurança e reversibilidade dos processos.

As interfaces entre os níveis do eixo Camadas do RAMI 4.0 ou entre atividades, foram desenvolvidas a partir de cada função da “Capacidade dos Serviços”, sendo que algumas delas são interações para o transporte de informações, principalmente nos níveis de “Ativos”, “Integração”, “Comunicação” e “Funcional”, e outras Funções-ETSI de processamento e análise de informações, sendo as principais nos níveis de “Informação” e “Funcional”.

Diferente do PFS, onde a ordem cronológica dos acontecimentos são descritas por números, na RdP foram utilizados “artifícios”. Eles têm o papel disciplinar o comportamento e simular os processos de interação entre Componentes I4.0.

Os artifícios na [**Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**], por exemplo, são necessários para definir com quem os Componentes I4.0 devem interagir. Os artifícios do [**Gerenciamento de transações**] apenas mostram com quem o Componente I4.0 está interagindo e não altera a dinâmica da interação. Os artifícios da [**Comunicação Genérica**], na interação M2M entre empresas, são usados exclusivamente para acesso ao nível de “Regra de Negócio”. Na [**Seleção da Comunicação**], na interação M2M dentro de uma mesma empresa, os artifícios são usados para possibilitar a interação pelo nível de “Comunicação”.

A interação entre Componentes I4.0 pelo nível “Funcional”, também é representado por artifícios, que buscam replicar os procedimentos que são usados na [**Alcanceabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] para a tomada de decisões. Na interação M2M dentro

de uma empresa, esses artifícios são usados para interação entre Componentes I4.0 pelo nível de “Comunicação”.

Na parte final de negociação, quando os ajustes finais são realizados para interação pelos níveis inferiores do eixo Camadas do RAMI 4.0, é definido que cinco ciclos de interações devem ocorrer até que o serviço seja finalizado. Os ciclos de interação são exemplos apenas para simular os casos, podendo ser realizados com menos ou mais ciclos, dependendo exclusivamente do que se pretende simular/analisar.

6 Conclusões

O RAMI 4.0 define os princípios e orientações para a implementação da Indústria 4.0. Dentro desse contexto, são retratados as relações entre Componentes I4.0, os *Cyber Physical Systems* e os níveis hierárquicos, entretanto, de forma ainda abstrata. Portanto, é necessário buscar estruturas consolidadas na literatura, para que assim seja possível introduzir essas funcionalidades dentro do RAMI 4.0. Nesse caso, existe a interação M2M e especificamente a ETSI-M2M, que fornece o que deve ocorrer para que seja possível a interação M2M. Nela é possível compreender os fenômenos estáticos e dinâmicos das interações M2M, e dela foi possível extrair as denominadas funções da “Capacidade dos Serviços”. Com essas arquiteturas e suas relações foi possível alcançar os objetivos (1) e (2) descritos no capítulo 1.

Com a “Capacidade dos Serviços” foi possível mapear suas funções no eixo Camadas do RAMI 4.0, e dessa forma alcançar o objetivo (3), baseado em dois cenários: (1) a interação M2M dentro de uma mesma empresa; e (2) a interação M2M entre empresas distintas.

Com o desenvolvimento dos cenários para interação M2M, ou entre Componentes 4.0, foi possível desenvolver os modelos em PFS, para garantir que todas as relações existentes na interação entre duas máquinas sejam realizadas. Dessa forma, uma parte do objetivo (4) foi alcançada.

A outra parte do objetivo (4) consiste nas análises. Com os modelos criados em PFS e posteriormente em RdP foi possível verificar e validar as interações e confirmar o comportamento previsto por simulação.

Analisando o que existe hoje em relação a documentação M2M no contexto da Indústria 4.0, como arquiteturas, funções e conceitos, pode-se concluir que os modelos de interação M2M no contexto da Indústria 4.0 foram criados e posteriormente verificados e validados.

6.1 Trabalhos Futuros

Alguns aprimoramentos podem ser realizadas nesse projeto para acrescentar novos aspectos e ampliar sua abrangência:

- As funções [**Ativação da Aplicação**] e [**Alcançabilidade, Endereçamento e Repositório de dados**] não definem como os Componentes I4.0 são escolhidos para realização do serviço, por exemplo, e como é feita essa análise, assim podem ser melhor detalhados;

- Necessidade de depurar internamente cada função da “Capacidade dos Serviços” para identificar possíveis erros, dessa forma será possível definir rotinas preditivas ou corretivas;
- Implementação de um caso que retrate a interação entre máquinas em um contexto da Indústria 4.0;
- Tratar casos que não foram abordados, como por exemplo, soluções para quando o Componente I4.0 não encontrar nenhum Componente I4.0 fora ou dentro da Empresa para realizar o serviço, ou se todas propostas enviadas para o Componente I4.0 nenhuma for suficiente para realizar o serviço.

Referências

- ADAM, N. R.; ATLURI, V.; HUANG, W. K. Modeling and analysis of workflows using Petri nets. *Journal of Intelligent Information Systems*, Netherlands, v. 10, n. 2, p. 131–158, 1998.
- ADOLPHS, P. *et al.* **Reference architecture model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)**: Düsseldorf: VDI Verein Deutscher Ingenieure, 2015. (*Status report.*)
- AKERMAN, M. **Implementing Shop Floor IT for Industry 4.0**. 2018. Tese (Doutorado) - Chamalmers University of Technology Gothenburg, Gothenburg, Sweden 2018.
- BANKS, J. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice**. New York : John Wiley & Sons, 1998.
- BASSI, A. *et al.* **Enabling things to talk**. [s.l.]: Springer-Verlag GmbH, 2013.
- BEDENBENDER, H *et al.* **Relationships between I4.0 components** : composite components and smart production continuation of the development of the reference model for the I4.0 sg models and standards. Düsseldorf : VDI Verein Deutscher Ingenieure, 2017. (*Status report.* 2017a.)
- BEDENBENDER, H.. *et al.* **Industrie 4.0 plug-and-produce for adaptable factories**: example use case definition models and implementation. Berlin : *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi)*, 2017. (*Tech. Rep.*, 2017b)
- BUONACCORSI, N. *et al.* ETSI M2M release 1 demonstration. In: *IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON A WORLD OF WIRELESS, MOBILE AND MULTIMEDIA NETWORKS (WoWMoM)*, San Francisco, California 2012. **Proceedings**. Piscataway : IEEE, 2012. p. 1–3.
- CERRITOS, E.; LIN, F. J.; DE LA BASTIDA, D. High scalability for cloud-based IoT/M2M systems. In: *IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS (ICC)*. Kuala Lumpur, Malaysia, [S.l.], **ICC 2016**: proceedings . Piscataway : IEEE, 2016. p. 1–6.
- CHEN, M.; WAN, J.; LI, F. Machine-to-Machine communications: Architectures, standards and applications. *Ksii Transactions on Internet & information Systems*, v. 6, n. 2, 2012.
- CHUNG, C. A. **Simulation modeling handbook: a practical approach**. Londres: CRC press, 2003.
- DARMOIS, E.; ELLOUMI, O. **Introduction to M2M. M2M communications: a systems approach**. New York : John Wiley & Sons, 2012.
- ELLOUMI, O.; FORLIVESI, C. ETSI M2M services architecture. **M2M Communications: a systems approach**. Chichester : Wiley, 2012., p. 95–140, 2012.
- GARROCHO, C. *et al.* Blockchain-based Machine-to-Machine communication in the Industry 4.0 applied at the industrial mining environment. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS, 10., 2020, 2020. *Anais* . [s.l.] : SBC, 2020. p. 127–134.

- GLITHO, R. H. Application architectures for machine to machine communications: research agenda vs. state-of-the art. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON BROADBAND COMMUNICATIONS AND BIOMEDICAL APPLICATIONS*, 7., Australia, Melbourne, **Proceedings**. Piscataway, NJ : IEEE 2011. p. 1–5.
- GOMES, R. D. et al . Desafios de redes de sensores sem fio industriais. *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, v. 4, n. 1, p. 16–27, 2014.
- HASEGAWA, K. et. al. On resource arc for Petri net modelling of complex resource sharing system. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, v. 26, n. 3-4, p. 423–437, 1999.
- HEER, T. et al. Discussion paper secure communication for Industrie 4.0. *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), (Tech. rep., 2017)*
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCE (*HICSS*), 49., Koloa, Hawaii, 2016. **Proceedings**. Piscataway, NJ : IEEE, 2016. p. 3928–3937.
- HYOUNG-KEE, Choi ; LEE, H. Extraction of tls master secret key in windows. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY CONVERGENCE, Jeju Island, South Korea, 2016. **ICTC2016**. Piscataway : IEEE, 2016. p. 667–671.
- JIANG, J.-R. An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. *Advances in Mechanical Engineering*, v. 10, n. 6, 2018.
- JUNQUEIRA, F.; MIYAGI, P. E. Modelagem e simulação distribuída de sistema produtivo baseados em rede de Petri. *Sba: controle & automação*, v. 20, n. 1, p. 1–19, 2009.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: final report of the Industrie 4.0 working group. *Forschungsunion. Berlin*, 2013.
- KRAMP, T.; KRANENBURG, R. V.; LANGE, S. Introduction to the Internet of Things. In: *Enabling Things to Talk*. Heidelberg : Springer , 2013. p. 1–10.
- LANOTTE, R.; MERRO, M. A semantic theory of the Internet of Things. *Information and Computation*, v. 259, p. 72–101, 2018.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, v. 3, p. 18–23, 2015.
- LIN, F. J. et al. Charging architecture for M2M communications. In: *WORLD FORUM ON INTERNET OF THINGS*, 3., Reston, Virginia . IEEE WF-IoT . Piscataway, NJ : IEEE, 2016. p. 123–128.
- LIN, F. J.; REN, Y.; CERRITOS, E. A feasibility study on developing IoT/M2M applications over ETSI M2M architecture. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS*, South Korea Seoul, 2013 . **ICPADS 2013**. Piscataway, NJ : IEEE, 2013. p. 558–563.

LIN, J.; YU, W.; ZHANG, N.; YANG, X.; ZHANG, H.; ZHAO, W. A survey on internet of things: architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 4, n. 5, p. 1125–1142, 2017.

LIN, S.-W. et al. **Industrial internet reference architecture**. *Industrial internet Consortium (IIC) (Tech. Rep, 2015)*

LIU, C.; CAO, Y.; LUO, Y.; CHEN, G.; VOKKARANE, V.; YUNSHENG, M.; CHEN, S.; HOU, P. A new deep learning-based food recognition system for dietary assessment on an edge computing service infrastructure. *IEEE Transactions on Services Computing*, v. 11, n. 2, p. 249–261, 2017.

LO, A.; LAW, Y. W.; JACOBSSON, M. A cellular-centric service architecture for Machine-to-Machine (M2M) communications. *IEEE wireless communications*, v. 20, n. 5, p. 143–151, 2013.

LÖWEN, U. et. al. *Industrie 4.0 components : modeling examples*, 2016.

MARCON, P. Communication technology for Industry 4.0. In: PROGRESS IN ELECTROMAGNETICS RESEARCH SYMPOSIUM-SPRING (PIERS), St Petersburg, Russia. **PIERS 2017**. Piscataway, NJ : IEEE,2017. p. 1694–1697.

MARGI, C.; SIMPLICIO, M.; BARRETO, P.; CARVALHO, T. Seguranca em redes de sensores sem fio. *Minicursos: [s.l.] : SBSeg*, p. 149–194, 2009.

MIYAGI, P. E. *Controle programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos*. [s.l.]: Edgard Blucher, 2001.

MIYAGI, P. E.; VILLANI, E.; MARUYAMA, N. Modeling of hybrid supervisory systems using uml and Petri nets. In:INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FRACTURY AUTOMATION, 8., **ETFA 2001: proceedings** [s.l.], 2001. v. 2, p. 149–158.

MUMTAZ, S.; ALSOHAILY, A.; PANG, Z.; RAYES, A.; TSANG, K. F.; RODRIGUEZ, J. Massive internet of things for industrial applications: addressing wireless IoT connectivity challenges and ecosystem fragmentation. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, v. 11, n. 1, p. 28–33, 2017.

PALATTELLA, M. R.. et. al. On optimal scheduling in duty-cycled industrial IoT applications using ieee802. 15.4 e tsch. *IEEE Sensors Journal*, v. 13, n. 10, p. 3655–3666, 2013.

PESSOA, M. A. et. al. Industry 4.0, how to integrate legacy devices: a cloud IoT approach. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELETRONICS SOCIETY, 44., Washington DC. **IECON 2018: proceedings**. Piscataway, NJ : IEEE, 2018. p. 2902–2907.

PISCHING, M. A. *Arquitetura para descoberta de equipamentos em processos de manufatura com foco na Indústria 4.0*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017.

PISCHING, M. A.; PESSOA, M. A.; JUNQUEIRA, F.; FILHO, D. J. dos S.; MIYAGI, P. E. An architecture based on RAMI 4.0 to discover equipment to process operations required by

products. *Computers & Industrial Engineering*, v. 125, p. 574–591, 2018.

PISCHING, M. A et al. Pfs/pn technique to model Industry 4.0 systems based on RAMI 4.0. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION (*ETFA*), 23., Washington, 2018. **IECON 2018**: proceedings. Piscataway, NJ : IEEE, 2018. v. 1, p. 1153–1156.

QIU, Y.; MA, M.; CHEN, S. An anonymous authentication scheme for multi-domain Machine-to-Machine communication in cyber-physical systems. *Computer Networks*, v. 129, p. 306–318, 2017.

QUEIROZ, J.; et. al. Distributing intelligence among cloud, fog and edge in industrial cyber-physical systems. [s.l.: s.n.], 2019. p.447–454.

RAUCHHAUPT, L. *et al.* Network-based communication for industrie 4.0–proposal for an administration shell. In: *Plattform Industrie 4.0*. [s.l.: s.n.], 2016.

SALLES, R. M. de, et. al. Requirements analysis for Machine to Machine integration within Industry 4.0. In: *IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY APLICATIONS*, 13. São Paulo, 2018. **INDUSCON 2018**. Piscataway, NJ : IEEE, 2018 . p. 1237–1243.

SCHÄTZ, B. Platforms for cyber-physical systems-fractal operating system and integrated development environment for the physical world. In: *INTERNATIONAL WORKSHOP ON EMERGING IDEAS AND TRENDS IN ENGINEERING OF CYBER-PHYSICAL.*, 3., Vienna, Austria. **EITEC 2016**. Piscataway, NJ IEEE, 2016 p. 1–4.

SCHMITTNER, C.. et. al. Practical safe, secure and reliable Machine-to-Machine connectivity for cyber-physical-production systems. In: *IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION*, 22., Limassol, Cyprus, 2017. **ETFA 2017**. Piscataway, New Jersey : IEEE, 2017 . p. 1–4.

SCHUH, G. et. al. Collaboration moves productivity to the next level. *Procedia Cirp*, v. 17, p. 3–8, 2014.

SCHWEICHHART, D. K. **Plattform industrie 4.0** : reference architectural model industrie 4.0 (RAMI 4.0): 2016. Disponível em: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference_architectural_model_industrie_4.0_rami_4.0.pdf. Acesso em: 21 jul. 2022

SERPANOS, D. The cyber-physical systems revolution. *Computer IEEE Computer Society*, v. 51, n. 3, p. 70–73, 2018.

SILVA, R. M. et. al.. Modeling of mechanisms for reconfigurable and distributed manufacturing control system. In: *ADVANCED DOCTORAL CONFERENCE ON COMPUTING*, 6., Costa de Caparica, Portugal, 2015. **Proceedings**. [s.l.] : Springer, 20015. FIP Advances in Information and Communication Technology, v. 450, p. 93-100, 2015.

TSIATSIS, V. et. al. *Internet of things: technologies and applications for a new age of intelligence*. [s.l.]: Academic Press, 2018.

TUNA, G. et. al. A survey on information security threats and solutions for Machine to

Machine (M2M) communications. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, v. 109, p.142–154, 2017.

WAGNER, C. et. al., P. The role of the Industry 4.0 asset administration shell and the digital twin during the life cycle of a plant. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING AUTOMATION, 22., Limassol, Cyprus, 2017. **ETFA 2017**. Piscataway, New Jersey, IEEE, 2017. p. 1–8.

WENGER, M.; ZOITL, A.; MÜLLER, T. Connecting plcs with their asset administration shell for automatic device configuration. In: *IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 16., Porto, Portugal. Piscataway, NJ : IEEE, 2018, p. 74–79.

WILAMOWSKI, B. M.; IRWIN, J. D. *Industrial communication systems*. Boca Raton: CRC Press, 2016.

ZHONG, R. Y. et. al. Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: a review. *Engineering*, v. 3, n. 5, p. 616–630, 2017.