

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

**LUIZ FELIPE PIERIN RAMOS**

***FRAMEWORK* PARA IMPLEMENTAÇÃO ÁGIL DE PROVAS DE CONCEITO  
(PoCs) VOLTADAS A INDÚSTRIA 4.0 QUE IMPACTAM EM PROJETOS DE  
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL**

**CURITIBA**

**2018**

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

**LUIZ FELIPE PIERIN RAMOS**

***FRAMEWORK* PARA IMPLEMENTAÇÃO ÁGIL DE PROVAS DE CONCEITO  
(PoCs) VOLTADAS A INDÚSTRIA 4.0 QUE IMPACTAM EM PROJETOS DE  
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL**

**CURITIBA**

**2018**

**LUIZ FELIPE PIERIN RAMOS**

***FRAMEWORK* PARA IMPLEMENTAÇÃO ÁGIL DE PROVAS DE CONCEITO  
(PoCs) VOLTADAS A INDÚSTRIA 4.0 QUE IMPACTAM EM PROJETOS DE  
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps

**CURITIBA**

**2018**

Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central  
Luci Eduarda Wielganczuk – CRB 9/1118

R175f  
2018

Ramos, Luiz Felipe Pierin  
*Framework* para implementação ágil de provas de conceito (PoCs) voltadas à indústria 4.0 que impactam em projetos de transformação digital / Luiz Felipe Pierin Ramos ; orientador: Eduardo de Freitas Rocha Loures ; coorientador: Fernando Deschamps. – 2018.  
252 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2018  
Bibliografia: f. 236-242

1. Engenharia de produção. 2. Inovações tecnológicas – Administração. 3. Revolução industrial. 4. Tecnologia digital. 4. Framework (Arquivo de computador). I. Loures, Eduardo de Freitas Rocha. II. Deschamps, Fernando. III. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. IV. Título.

CDD 22. ed. – 670



Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Escola Politécnica

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS

## TERMO DE APROVAÇÃO

### Luiz Felipe Pierin Ramos

#### Framework de Implementação Ágil de Provas de Conceito (PoCs) voltadas a Indústria 4.0 que impactam em Projetos de Transformação Digital.

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

Presidente da Banca  
Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures  
(Orientador)

Prof. Dr. Ferrando Deschamps  
(Coorientador)

Prof. Dr. Eduardo Aves Portela Santos  
(Membro Interno)

Prof. Dr. José Marcelo Cestari  
(Membro Externo)

Prof. Dr. Fabiano Drozda  
(Membro Externo)

Curitiba, 07 de dezembro de 2018.

**LUIZ FELIPE PIERIN RAMOS**

***FRAMEWORK* PARA IMPLEMENTAÇÃO ÁGIL DE PROVAS DE CONCEITO  
(PoCs) VOLTADAS A INDÚSTRIA 4.0 QUE IMPACTAM EM PROJETOS DE  
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL**

Relatório de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures  
Orientador (PUCPR)

---

Prof. Dr. Fernando Deschamps  
Coorientador (PUCPR)

---

Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos  
Membro Interno (PUCPR)

---

Prof. Dr. José Marcelo Cestari  
Membro Externo (OPET)

---

Prof. Dr. Fabiano Drozda  
Membro Externo (UFPR)

Curitiba, 07 de dezembro de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria muito de agradecer a Deus por ter me dado forças e subsídios suficientes para desenvolver esse estudo extenso, porém muito significativo para a minha vida intelectual. Tenho certeza que saio mais fortalecido dessa fase que passei de minha vida devido ao conhecimento que adquiri ao longo de quatro anos de muito esforço e dedicação. Nos próximos projetos pessoais e profissionais que se sucederão, estarei pronto para inserir aquilo que fiz de melhor neste trabalho para quem sabe, receber o reconhecimento pelo mérito num futuro não tão distante assim. Sem ter mantido a fé e crença divina até o final, seria muito difícil ter superado todos os percalços que surgiram no meu caminho.

Agradeço aos meus familiares, sobretudo a minha mãe, por ter me apoiado em todo esse tempo e me dado forças para que desenvolvesse uma pesquisa cada vez melhor onde pudesse agregar valor à minha carreira. Foram vários momentos em que tive que ficar enfurnado num quarto, quase o dia todo, para garantir uma boa qualidade dos artigos e do relatório final da dissertação. Sem a compreensão da família, não teria sido possível chegar até aonde cheguei.

Agradeço ao meu orientador, Eduardo de Freitas Rocha Loures, e ao meu coorientador, Fernando Deschamps, pela oportunidade e confiança que me ofertaram desde o início onde tive a oportunidade de obter ainda mais conhecimento afim de encontrar uma solução que pudesse ajudar as empresas a entrar, de uma forma mais organizada, na Era Digital. Retribuo, ao professor Eduardo Loures, todo o meu reconhecimento pelo aprendizado que obtive em diversas reuniões e discussões que fizemos onde me auxiliaram, me auxiliam e me auxiliarão tanto na vida profissional quanto na vida pessoal. É uma amizade que pretendo manter nessa e nas outras vidas.

Por fim, uma referência especial aos meus amigos e colegas de trabalho que me ajudaram muito nessa caminhada árdua, porém positiva. Considero sempre ser importante se aproximar daqueles que te ajudam a agregar valor nos transformando em pessoas cada vez melhores com os ensinamentos que nos passam.

## RESUMO

As grandes empresas têm tido uma busca incessante por redução de custos, aumento de performance e agilidade em tomadas de decisão. O mercado brasileiro está exigindo que as organizações procurem formas de se adaptar com maior flexibilidade atendendo as demandas oriundas dos clientes rapidamente. Para isso, é necessário aprimorar seus processos desde a contratação ágil de fornecedores que suportam a cadeia de suprimentos (*Smart Supply Chain*), passando pelo ganho de produtividade dos processos de manufatura e manutenção através de recursos técnicos inteligentes (*Smart Factory*). Gera-se com isso inovação na concepção de novos produtos tendo como base dados do ciclo de vida do mesmo (*Smart Products*) e explorando competências oriundas de instituições capacitadas para desenvolver soluções a curto prazo (*Smart Innovation*). Esses quatro pilares, segundo a consultoria Capgemini, formam o planejamento estratégico para implementação da Indústria 4.0. Diante deste cenário, as companhias brasileiras têm abordado estratégias diferentes para implementação dos conceitos da Quarta Revolução Industrial. Algumas preferem construir uma estrutura organizacional mais sólida antes de adotar recursos tecnológicos. Outras tem como preferência o modelo “Aprender Fazendo”, permitindo que a empresa conheça as alternativas técnicas existentes no mercado e incentivando as áreas de negócio a investir em tecnologias mais avançadas, visualizando o retorno que as mesmas geram. No setor automotivo, tem crescido o uso da metodologia de Provas de Conceito (PoCs) para estabelecer, dentre outras coisas, quais serão as áreas que as empresas irão priorizar e avaliar o Retorno do Investimento (RoI) que é possível obter. No entanto, durante o planejamento e execução das PoCs surgem diversas barreiras não mensuradas que impactam significativamente na entrega da mesma e acabam desestimulando as organizações a iniciar o processo de transição da I3.0 para a I4.0. Essas dificuldades tem uma relação forte com a falta de interoperabilidade entre setores da companhia (barreira organizacional), sistemas (barreira tecnológica) e semântica (barreira conceitual). Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar um *framework* que possibilite a implementação mais eficiente e ágil das Provas de Conceito, com base no atendimento de requisitos de interoperabilidade e em avaliação multicritério sob diferentes perspectivas. O modelo proposto fundamenta-se em estrutura tridimensional (cubo) caracterizando de forma integrada fases relativas à (i) criação de uma arquitetura referencial (objeto da PoC) com base em dados (requisitos funcionais e tecnologias) levantados da literatura (fase *concepção*), (ii) avaliação de maturidade da organização (fase *diagnóstica*) na adoção de elementos da arquitetura e, com base no diagnóstico, (iii) proposição de uma arquitetura funcional (fase *propositiva*) permitindo que a PoC seja aplicada conforme as capacidades e limitações existentes na empresa. Métodos multicritérios de tomada de decisão como o AHP e Promethee, muito adequados ao espaço de avaliação envolvido, estruturam o modelo ao longo da estrutura tridimensional. Para fins de validação do *framework*, foi escolhido o case da PoC de Rastreabilidade de Embalagens que detém elementos fortemente vinculados com a interoperabilidade e uma estrutura funcional similar as camadas do modelo referencial de concepção da metodologia denominado RAMI 4.0. Após o levantamento e avaliação das informações adquiridas, obteve-se a arquitetura mais condizente com a realidade da organização apontando as tecnologias que melhor se adaptavam as limitações existentes, permitindo que a implementação do experimento fosse realizada de forma mais assertiva. Além disso, reuniu-se uma série de dados que fornecem aos tomadores de decisão uma visão mais estendida para que a solução possa se tornar escalável para outras áreas de atuação.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, Provas de Conceito, Interoperabilidade, *Frameworks*, Métodos Multicritérios, Arquitetura Referencial, Avaliação Diagnóstica, Modelo Propositivo.

## ABSTRACT

Large companies have been incessant pursuit of cost reduction, increased performance and agility in decision making. The Brazilian market is demanding that organizations look for ways to adapt with greater flexibility by meeting the demands of customers quickly. For this, it is necessary to improve the processes from the agile contracting of suppliers that support the supply chain (Smart Supply Chain), through gaining productivity in the manufacturing and maintenance processes through intelligent technical resources (Smart Factory). This creates innovation in the design of new products based on PLM (Smart Products) and exploits skills from institutions that can develop short-term solutions (Smart Innovation). These four pillars, according to Capgemini, form the strategic planning for the implementation of Industry 4.0. Given this scenario, Brazilian companies have approached different strategies for implementing the concepts of the Fourth Industrial Revolution. Someone prefers to build a more solid organizational structure before adopting technological resources. Others prefer the "Learning by Doing" model, allowing the company to know the technical alternatives available in the market and encouraging the *Business* areas to invest in more advanced technologies, visualizing the return that generate. In the automotive sector, the use of the Proof of Concept methodology (PoCs) has grown to establish, among other things, which areas companies will prioritize and evaluate the Return on Investment (RoI) that can be obtained. However, during the planning and execution of the PoCs arise several unmeasured barriers that significantly impact the delivery of the same and discouraging the organizations to begin the processes of transition from I3.0 to I4.0. These difficulties have a strong relation with the lack of interoperability between company sectors (organizational barrier), systems (technological barrier) and semantics (conceptual barrier). Therefore, the objective of this work is present a framework that allows the most efficient and agile implementation of Proofs of Concept, based on the fulfillment of interoperability requirements and multicriteria evaluation from different perspectives. The proposed model is based on three-dimensional structure (cube) characterizing in an integrated way phases related to (i) creation of a referential architecture (PoC object) based on *Data* (functional requirements and technologies) (ii) evaluation of organizational maturity (diagnostic phase) in the adoption of elements of the architecture and, based on the diagnosis, (iii) proposition of a functional architecture (propositional phase) allowing PoC to be applied according to the capacities and limitations existing in the company. Multicriteria decision-making methods such as AHP, Promethee, suitable for the evaluation space involved, structure the model along the three-dimensional structure. To validate the framework, one case of application with high impact in the area of manufacture and maintenance, coming from a French multinational company of the automotive sector will be chosen. The new methodological approach is expected to reduce risks, time, and increase the assertiveness of PoC implementation. It is envisaged to involve, in the sphere of action, other industrial plants in a more collaborative way in the adoption of the concepts of Industry 4.0 and, thus, generate better financial returns. For the purpose of validation of this framework, the PoC of Traceability of Packaging was chosen, which has elements strongly linked to interoperability and a functional structure like the layers of the referential design model of the RAMI 4.0 methodology. After the survey and evaluation of the information acquired, the architecture was more in keeping with the reality of the organization, pointing out the technologies that best fit the existing limitations, allowing the implementation of the experiment to be realized assertively. In addition, a series of data has been gathered that provide decision-makers with a more extended view so that the solution can be scalable to other areas of expertise.

**Keywords:** Industry 4.0, Proofs of Concept, Interoperability, Frameworks, Multicriteria Methods, Reference Architecture, Maturity Assessment, Propositional Model.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Abordagem metodológica de pesquisa. ....	30
Figura 02 - Linha Histórica da Revolução Industrial .....	33
Figura 03 - Framework da Indústria 4.0. ....	37
Figura 04 – <i>Overview</i> do modelo RAMI 4.0.....	43
Figura 05 – Comparação entre hierarquia de automação entre a I3.0 e a I4.0. ....	44
Figura 06 – Arquitetura do RAMI 4.0.....	46
Figura 07 – Integração entre a arquitetura (RAMI 4.0) e a hierarquia, da empresa, para a implementação da I4.0.....	47
Figura 08 – Metodologia para a introdução da Indústria 4.0. ....	48
Figura 09 – Estágios para o caminho do desenvolvimento da Indústria 4.0. ....	50
Figura 10 – Modelo de avaliação do índice de maturidade da Acatech. ....	51
Figura 11 – Framework for Enterprise Interoperability. ....	56
Figura 12 – Estrutura usual do AHP.....	58
Figura 13 – Processo de execução de uma Prova de Conceito (PoC). ....	80
Figura 14 – Representação do <i>Framework</i> RDPM I4.0 em formato tridimensional...	84
Figura 15 – Fluxo processual para desenvolvimento da Arquitetura Referencial.....	86
Figura 16 – Definição de Atributos e Requisitos Funcionais. ....	87
Figura 17 – Estrutura hierárquica do modelo AHP.....	88
Figura 18 – Fluxo processual para desenvolvimento da avaliação diagnóstica. ....	91
Figura 19 – Estrutura hierárquica do modelo AHP Interoperabilidade. ....	91
Figura 20 – Fluxo processual para desenvolvimento da Arquitetura Funcional (Face S3).....	93
Figura 21 – Fluxo da gestão de embalagens da organização.....	100
Figura 22 – Os quatro pilares da tecnologia LPWAN. ....	101
Figura 23 – Soluções de conectividade sem fio – Matriz de comparação.....	102
Figura 24 – Arquitetura inicial para a PoC na França.....	104
Figura 25 – Fluxo processual da pesquisa realizada. ....	105
Figura 26 – Gráfico radar dos pesos dos atributos de <i>Assets</i> . ....	128
Figura 27 – Gráfico radar dos pesos dos requisitos funcionais de <i>Assets</i> . ....	129
Figura 28 – Valores de Phi para tecnologias de <i>Assets</i> . ....	131

Figura 29 – Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de <i>Assets</i> avaliado.....	132
Figura 30 – Pesos dos atributos de <i>Integration</i> .....	134
Figura 31 – Pesos dos critérios de <i>Integration</i> .....	135
Figura 32 – Valores de Phi para tecnologias de <i>Integration</i> .....	137
Figura 33 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de <i>Integration</i> avaliado.....	138
Figura 34 – Pesos dos atributos de <i>Communication</i> .....	140
Figura 35 – Pesos dos critérios de <i>Communication</i> .....	140
Figura 36 – Valores de Phi para tecnologias de <i>Communication</i> .....	141
Figura 37 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de <i>Communication</i> avaliado.....	142
Figura 38 – Pesos dos atributos de <i>Information</i> .....	144
Figura 39 – Pesos dos critérios de <i>Information</i> .....	144
Figura 40 – Valores de Phi para tecnologias de <i>Information</i> .....	145
Figura 41 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de <i>Information</i> avaliado.....	146
Figura 42 – Pesos dos atributos de <i>Functional</i> .....	147
Figura 43 – Pesos dos critérios de <i>Functional</i> .....	148
Figura 44 – Valores de Phi para tecnologias de <i>Functional</i> .....	150
Figura 45 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de <i>Functional</i> avaliado.....	152
Figura 46 – Pesos dos atributos de <i>Business</i> .....	154
Figura 47 – Pesos dos critérios de <i>Business</i> .....	154
Figura 48 – Valores de Phi para tecnologias de <i>Business</i> .....	155
Figura 49 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de <i>Business</i> avaliado.....	156
Figura 50 – Pesos dos critérios do atributo Ambientes de Aplicação LPWAN. ....	167
Figura 51 – Pesos dos subcritérios do atributo Ambientes de Aplicação LPWAN. .	167
Figura 52 – Valores de Phi para requisitos funcionais de Process Tecnológico. ....	170
Figura 53 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de <i>Process Tecnológico</i> avaliado.....	171
Figura 54 – Pesos dos subcritérios do atributo Tecnologias LPWAN. ....	173
Figura 55 – Valores de Phi para requisitos funcionais de <i>Service Tecnológico</i> . ....	176

Figura 56 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de <i>Service Tecnológico</i> avaliado.....	176
Figura 57 – Pesos dos critérios do atributo Protocolos de Comunicação. ....	178
Figura 58 – Pesos dos subcritérios do atributo Protocolos de Comunicação.....	178
Figura 59 – Valores de Phi para requisitos funcionais de <i>Data Tecnológico</i> .....	180
Figura 60 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de <i>Data Tecnológico</i> avaliado.....	181
Figura 61 – Pesos dos subcritérios do atributo Tecnologias LoRa.....	183
Figura 62 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de <i>Data Semântico</i> avaliado.....	185
Figura 63 – Valores de Phi para requisitos funcionais de <i>Data Semântico</i> . ....	186
Figura 64 – Critérios do atributo Plataforma IoT.....	187
Figura 65 – Valores de Phi para requisitos funcionais de <i>Business Organizacional</i> .....	190
Figura 66 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de <i>Business Organizacional</i> avaliado.....	190
Figura 67 – Critérios do atributo Tecnologias LPWAN. ....	192
Figura 68 – Critérios do atributo Plataformas Abertas.....	192
Figura 69 – Pesos dos subcritérios do atributo Tecnologias LPWAN. ....	193
Figura 70 – Valores de Phi para requisitos funcionais de <i>Business Tecnológico</i> ....	195
Figura 71 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de <i>Business Tecnológico</i> avaliado.....	197
Figura 72 – Valores de Phi para requisitos funcionais de <i>Business Semântico</i> . ....	199
Figura 73 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de <i>Business Semântico</i> avaliado.....	200
Figura 74 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de <i>Assets</i> .....	206
Figura 75 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de <i>Assets</i> .....	207
Figura 76 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de <i>Integration</i> .....	209
Figura 77 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de <i>Integration</i> .....	210

Figura 78 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de <i>Communication</i> .....	212
Figura 79 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de <i>Communication</i> .....	213
Figura 80 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de <i>Information</i> .....	215
Figura 81 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de <i>Information</i> .....	215
Figura 82 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de <i>Functional</i> .....	218
Figura 83 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de <i>Functional</i> .....	219
Figura 84 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de <i>Business</i> .....	220
Figura 85 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de <i>Business</i> .....	223
Figura 86 – Soluções tecnológicas apontadas pela Face 01 (S1 – Referencial). ...	225
Figura 87 – Requisitos críticos apontados pela Face 02 (S2 – Diagnóstico). ....	228
Figura 88 – Soluções tecnológicas definidas pela Face S3. ....	232
Figura 89 – Tecnologias definidas pela organização. ....	234

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Impacto nos negócios sob a ótica do pilar de <i>Smart Solutions</i> . ....	38
Tabela 02 – Impacto nos negócios sob a ótica do pilar de <i>Smart Innovation</i> .....	39
Tabela 03 – Impacto nos negócios sob a ótica do pilar de <i>Smart Supply Chain</i> . ....	40
Tabela 04 – Impacto nos negócios sob a ótica do pilar de <i>Smart Factory</i> . ....	41
Tabela 05 – <i>Framework for Enterprise Interoperability</i> (duas dimensões básicas). ..	54
Tabela 06 – Escala utilizada no AHP. ....	59
Tabela 07 – Random Index RI.....	60
Tabela 08 – Funções de preferência do Promethee. ....	62
Tabela 09 – Descrição das atividades da PoC de Manutenção Preditiva. ....	72
Tabela 10 – Riscos mensurados para a PoC de Manutenção Preditiva. ....	73
Tabela 11 – Descrição das atividades da PoC de Especialista Remoto. ....	75
Tabela 12 – Riscos mensurados para a PoC do Especialista Remoto. ....	75
Tabela 13 – Descrição das Atividades da PoC de Computação Cognitiva. ....	77
Tabela 14 – Riscos mensurados para a PoC de Computação Cognitiva. ....	78
Tabela 15 – Levantamento das lições aprendidas no Projeto FMS através do método <i>StartFish</i> .....	82
Tabela 16 – Quadro relacional (Requisitos Funcionais vs Tecnologias Aplicáveis) com o método Promethee.....	89
Tabela 17 – Escala do método Promethee a ser utilizada na avaliação. ....	89
Tabela 18 – Estrutura do quadro relacional no Promethee para a Face 02 (Diagnóstica).....	92
Tabela 19 – Estrutura do quadro relacional no Promethee para a Face 03 (Propositiva).....	94
Tabela 20 – Levantamento das PoCs mais significativas para a empresa. ....	97
Tabela 21 – Critérios de priorização de Provas de Conceito para a empresa. ....	99
Tabela 22 – Categorização de dados coletados dos artigos. ....	109
Tabela 23 – Coleta de dados do <i>Paper 01</i> . ....	110
Tabela 24 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada <i>Assets</i> . ....	113
Tabela 25 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada <i>Integration</i> . ....	114
Tabela 26 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada <i>Communication</i> . ....	115
Tabela 27 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada <i>Information</i> . ....	116
Tabela 28 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada <i>Functional</i> . ....	117

Tabela 29 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada <i>Business</i> . .....	118
Tabela 30 – Definição dos requisitos funcionais de <i>Assets</i> .....	119
Tabela 31 – Definição dos requisitos funcionais de <i>Integration</i> .....	120
Tabela 32 – Definição dos requisitos funcionais de <i>Communication</i> .....	121
Tabela 33 – Definição dos requisitos funcionais de <i>Information</i> .....	121
Tabela 34 – Definição dos requisitos funcionais de <i>Functional</i> .....	122
Tabela 35 – Definição dos requisitos funcionais de <i>Business</i> .....	122
Tabela 36 – Definição das tecnologias de <i>Assets</i> . .....	124
Tabela 37 – Definição das tecnologias de <i>Integration</i> .....	124
Tabela 38 – Definição das tecnologias de <i>Communication</i> .....	125
Tabela 39 – Definição das tecnologias de <i>Information</i> .....	125
Tabela 40 – Definição das tecnologias de <i>Functional</i> . .....	126
Tabela 41 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Assets</i> .....	128
Tabela 42 – Valores de Phi das tecnologias de <i>Assets</i> .....	130
Tabela 43 – Quadro relacional entre requisitos funcionais e tecnologias de <i>Assets</i> .....	131
Tabela 44 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Integration</i> .....	134
Tabela 45 – Valores de Phi das tecnologias de <i>Integration</i> .....	135
Tabela 46 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de <i>Integration</i> .....	137
Tabela 47 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Communication</i> .....	139
Tabela 48 – Valores de Phi das tecnologias de <i>Communication</i> .....	140
Tabela 49 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de <i>Communication</i> ....	141
Tabela 50 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Information</i> .....	143
Tabela 51 – Valores de Phi das tecnologias de <i>Information</i> .....	145
Tabela 52 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de <i>Information</i> .....	145
Tabela 53 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Functional</i> . .....	147
Tabela 54 – Valores de Phi das tecnologias de <i>Functional</i> .....	149
Tabela 55 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de <i>Functional</i> .....	151
Tabela 56 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Business</i> . .....	153
Tabela 57 – Valores de Phi das tecnologias de <i>Business</i> .....	155
Tabela 58 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de <i>Business</i> . .....	156
Tabela 59 – Critérios e atributos levantados na literatura para as barreiras de interoperabilidade.....	160
Tabela 60 – Definição das barreiras de <i>Business</i> . .....	162

Tabela 61 – Definição das barreiras de <i>Process</i> .....	163
Tabela 62 – Definição das barreiras de <i>Services</i> .....	164
Tabela 63 – Definição das barreiras de <i>Data</i> .....	165
Tabela 64 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Process</i> .....	166
Tabela 65 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de <i>Process Tecnológico</i> .....	168
Tabela 66 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de <i>Process Tecnológico</i> .....	169
Tabela 67 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Services</i> .....	172
Tabela 68 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de <i>Service Tecnológico</i> .....	174
Tabela 69 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de <i>Service Tecnológico</i> .....	175
Tabela 70 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Data Tecnológico</i> .....	177
Tabela 71 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de <i>Data Tecnológico</i> .....	179
Tabela 72 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de <i>Data Tecnológico</i> .....	180
Tabela 73 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Data Semântico</i> .....	182
Tabela 74 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de <i>Data Semântico</i> .....	184
Tabela 75 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de <i>Data Semântico</i> .....	184
Tabela 76 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Business Organizacional</i> .....	187
Tabela 77 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de <i>Business Organizacional</i> .....	188
Tabela 78 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de <i>Business Organizacional</i> .....	189
Tabela 79 – Pesos dos atributos e critérios de <i>Business Tecnológico e Semântico</i> .....	191
Tabela 80 – Pesos dos subcritérios do atributo <i>Tecnologias LPWAN</i> .....	193
Tabela 81 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de <i>Business Tecnológico</i> .....	194
Tabela 82 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de <i>Business Tecnológico</i> .....	196
Tabela 83 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de <i>Business Semântico</i> .....	198
Tabela 84 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de <i>Business Semântico</i> .....	199
Tabela 85 – Matriz diagnóstica <i>FS2</i> para a camada de <i>Assets</i> .....	202
Tabela 86 - Matriz referencial <i>FS1</i> para a camada de <i>Assets</i> .....	202

Tabela 87 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de <i>Assets</i> .....	204
Tabela 88 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de <i>Assets</i> .....	205
Tabela 89 – Valores de Phi para as tecnologias de <i>Assets</i> .....	206
Tabela 90 – Quadro relacional no Promethee entre as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de <i>Assets</i> .....	207
Tabela 91 – Cálculo dos valores resultantes para a Face S3 para definição das tecnologias de <i>Integration</i> .....	208
Tabela 92 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de <i>Integration</i> .....	208
Tabela 93 – Valores de Phi para as tecnologias de <i>Integration</i> . ....	208
Tabela 94 – Quadro relacional no Promethee entre as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de <i>Integration</i> .....	209
Tabela 95 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de <i>Communication</i> .....	211
Tabela 96 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de <i>Communication</i> .....	211
Tabela 97 – Valores de Phi para as tecnologias de <i>Communication</i> . ....	211
Tabela 98 – Quadro relacional no Promethee para as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de <i>Communication</i> .....	212
Tabela 99 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de <i>Information</i> .....	213
Tabela 100 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de <i>Information</i> .....	214
Tabela 101 – Valores de Phi para as tecnologias de <i>Information</i> . ....	214
Tabela 102 – Quadro relacional no Promethee para as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de <i>Information</i> .....	215
Tabela 103 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de <i>Functional</i> .....	216
Tabela 104 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de <i>Functional</i> .....	217
Tabela 105 – Valores de Phi para as tecnologias de <i>Functional</i> .....	218

Tabela 106 – Quadro relacional no Promethee para as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de <i>Functional</i> . .....	218
Tabela 107 – Valores de Phi para as tecnologias de <i>Business</i> . .....	220
Tabela 108 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de <i>Business</i> . .....	221
Tabela 109 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de <i>Business</i> . .....	222
Tabela 110 – Quadro relacional no Promethee para as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de <i>Business</i> . .....	222
Tabela 111 – Dados coletados da literatura para <i>Assets</i> . .....	248
Tabela 112 – Dados coletados da literatura para <i>Integration</i> . .....	250
Tabela 113 – Dados coletados da literatura para <i>Communication</i> . .....	252
Tabela 114 – Dados coletados da literatura para <i>Information</i> . .....	253
Tabela 115 – Dados coletados da literatura para <i>Functional</i> . .....	254
Tabela 116 – Dados coletados da literatura para <i>Business</i> . .....	256

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RDPM I4.0	<i>Referential, Diagnostic and Propositional Model for I4.0</i>
I4.0	<i>Industry 4.0</i>
I3.0	<i>Industry 3.0</i>
MCDM/A	<i>Multi-Criteria Decision Making Analysis</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
RAMI 4.0	<i>Reference Architectural Model Industrie 4.0</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
CPPS	<i>Cyber Physical Production Systems</i>
SOA	<i>Service-Oriented Architecture</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
SaaS	<i>Software as a Service</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>
LPWAN	<i>Low-Power Wide-Area Network</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
NB-IoT	<i>Narrowband IoT</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
PVS	<i>Packaging Visibility System</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
1.1	OBJETIVOS.....	26
1.1.1	Objetivo Geral.....	26
1.1.2	Objetivos Específicos.....	26
1.2	JUSTIFICATIVA DE PESQUISA .....	26
1.3	ABORDAGEM METODOLÓGICA UTILIZADA .....	29
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	30
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>32</b>
2.1	INDÚSTRIA 4.0 .....	32
2.2	FRAMEWORKS DA INDÚSTRIA 4.0.....	35
2.2.1	Modelo Capgemini - Estratégico.....	36
2.2.2	Modelo RAMI 4.0 – Tecnológico.....	42
2.2.3	Modelo de Maturidade Acatech I4.0 – Diagnóstico.....	47
2.3	INTEROPERABILIDADE .....	52
2.4	MÉTODOS MULTI-CRITÉRIOS DE TOMADA DE DECISÃO (MCDM/A) .....	56
2.4.1	AHP ( <i>Analytic Hierarchy Process</i> ) .....	57
2.4.2	PROMETHEE ( <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i> ) .....	61
2.5	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	65
<b>3</b>	<b>PROVAS DE CONCEITO APLICADAS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA .....</b>	<b>67</b>
3.1	PROVA DE CONCEITO – DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	67
3.2	PROVA DE CONCEITO - MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	70
3.3	PROVA DE CONCEITO – ESPECIALISTA REMOTO .....	74
3.4	PROVA DE CONCEITO – COMPUTAÇÃO COGNITIVA .....	76
3.5	PROJETO DE TRANSFORMAÇÃO DIGITAL – FMS.....	79
3.6	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	82
<b>4</b>	<b>FRAMEWORK PROPOSTO.....</b>	<b>83</b>
4.1	PROPOSTA <i>FRAMEWORK</i> RDPM I4.0 PARA PROVAS DE CONCEITO .....	83
4.1.1	Descrição Face 01 – Arquitetura Referencial .....	85
4.1.2	Descrição Face 02 – Avaliação de Maturidade (Diagnóstico).....	90
4.1.3	Descrição Face 03 – Arquitetura Funcional (Propositiva) .....	92
4.2	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	94

<b>5</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>96</b>
5.1	DEFINIÇÃO DA POC.....	96
5.2	DESCRIÇÃO DO CASE .....	99
5.2.1	Metodologia de Concepção .....	105
5.3	CONSTRUÇÃO DO MODELO REFERENCIAL (S1).....	107
5.3.1	Dados Levantados da Literatura.....	108
5.3.2	Definição dos Requisitos Funcionais .....	111
5.3.3	Definição das Tecnologias.....	123
5.3.4	Desenvolvimento do Quadro Relacional.....	127
5.3.4.1	Camada de Dispositivos ( <i>Assets</i> ).....	127
5.3.4.2	Camada de Integração ( <i>Integration</i> ).....	133
5.3.4.3	Camada de Comunicação ( <i>Communication</i> ).....	139
5.3.4.4	Camada de Informação ( <i>Information</i> ).....	142
5.3.4.5	Camada de Funções ( <i>Functional</i> ).....	146
5.3.4.6	Camada de Decisão ( <i>Business</i> ) .....	153
5.4	CONSTRUÇÃO DO MODELO DIAGNÓSTICO (S2).....	157
5.4.1	Dados Levantados da Literatura.....	157
5.4.2	Definição das Barreiras de Interoperabilidade .....	161
5.4.2.1	Barreiras Estratégicas ( <i>Business</i> ).....	161
5.4.2.2	Barreiras Processuais ( <i>Process</i> ) .....	162
5.4.2.3	Barreiras de Serviços ( <i>Services</i> ) .....	163
5.4.2.4	Barreiras de Dados ( <i>Data</i> ).....	164
5.4.3	Desenvolvimento do Quadro Relacional.....	165
5.4.3.1	Camada de Dispositivos ( <i>Assets</i> ).....	165
5.4.3.2	Camada de Integração ( <i>Integration</i> ).....	172
5.4.3.3	Camada de Comunicação ( <i>Communication</i> ).....	177
5.4.3.4	Camada de Informação ( <i>Information</i> ).....	182
5.4.3.5	Camada de Funções ( <i>Functional</i> ).....	186
5.4.3.6	Camada de Decisão ( <i>Business</i> ) .....	191
5.5	CONSTRUÇÃO DO MODELO PROGNÓSTICO (S3).....	200
5.5.1	Metodologia de Análise Adotada .....	201
5.5.2	Definição das Tecnologias.....	204
5.5.2.1	Camada de Dispositivos ( <i>Assets</i> ).....	204
5.5.2.2	Camada de Integração ( <i>Integration</i> ).....	207

5.5.2.3	Camada de Comunicação ( <i>Communication</i> )	210
5.5.2.4	Camada de Informação ( <i>Information</i> )	213
5.5.2.5	Camada de Funções ( <i>Functional</i> )	216
5.5.2.6	Camada de Decisão ( <i>Business</i> )	219
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>224</b>
6.1	ANÁLISE DA FACE S1 (MODELO REFERENCIAL)	224
6.2	ANÁLISE DA FACE S2 (MODELO DIAGNÓSTICO)	227
6.3	ANÁLISE DA FACE S3 (MODELO PROPOSITIVO)	231
6.4	SOLUÇÃO DEFINIDA PELA ORGANIZAÇÃO	233
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>236</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>239</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>247</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A área de manufatura tem sido o domínio onde os avanços da ciência e da tecnologia sustentam, de forma contínua, o desenvolvimento da industrialização em todo o mundo (Belvedere et al., 2012). Há muitas dificuldades de se definir quando se começará uma revolução industrial e por quando tempo ela irá se manter (Maynard, 2015). Historicamente, ocorreram três grandes evoluções tecnológicas nos últimos três séculos que mudaram o contexto da palavra indústria. E isso continua mudando nos últimos anos devido a crescente atenção a pesquisas envolvendo conceitos de IoT (Atzori et al., 2010) e CPS (Khaitan e McCalley, 2014). Dessa forma, algumas iniciativas oriundas de governos e empresas tem sido adotada porque se percebe claramente que a 4ª Revolução Industrial trará enormes benefícios a sociedade.

Desde 2011, alguns países têm intitulado alguns nomes para representar a nova era da indústria em seu território. Nos Estados Unidos, o termo “*Advanced Manufacturing Partnership (AMP)*” é usado para patrocinar uma série de discussões, ações e recomendações do governo com instituições de ensino, pesquisa e com corporações para se prepararem para a próxima geração da manufatura (Reif et al., 2014). Na Alemanha, o projeto ambicioso liderado pelo governo tem como objetivo executar 10 projetos do plano de ação denominado “*High-Tech Strategy 2020*” no setor de manufatura, cujo nome é o mais conhecido e seguido no mundo, “*Industrie 4.0*” (Kagermann et al., 2013). Por fim, na França a iniciativa de revisão estratégica do parque fabril, liderada pelo governo francês, foi batizada de “*La Nouvelle France Industrielle*” (Conseil National de l’industrie, 2013).

Entre o período de 2014 a 2016, o Brasil tem passado por uma de suas piores crises econômicas da história. Nesses anos a recessão resultou numa queda de produção de 60% no setor industrial (Correio Braziliense, 2017). A produção da indústria teve uma queda de 3% em 2014, de 8,2% em 2015 e 6,6% em 2016 (IEDI, 2017). No Brasil não se tem um apoio consistente do governo como há nos exemplos citados no parágrafo anterior. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI) (2016), além de buscar a incorporação e o desenvolvimento dessas tecnologias, é necessário atuar de forma ágil para que se possa reduzir o *gap* de competitividade do Brasil com outros países.

Diante desse cenário desfavorável e de forma a enfrentá-lo, percebe-se que há iniciativas internas, vindas de organizações de grande porte, para implementar os conceitos da I4.0. A comunidade acadêmica tem contribuído significativamente para alavancar as pesquisas sobre o tema no cenário nacional através de parcerias com multinacionais que já iniciaram alguns estudos. Dessa cooperação tem se adotado, com frequência, o uso da metodologia de Provas de Conceito (*Proof of Concepts - PoCs*) como forma de acelerar a implantação de novas tecnologias (Glatin et al., 2017). No entanto, diversas dificuldades a nível técnico, conceitual e organizacional são encontradas na introdução destas iniciativas. Casos práticos na indústria automotiva brasileira relatam o pouco conhecimento que se tem sobre a Indústria 4.0 o que gera a escolha equivocada de recursos técnicos. Além disso, a interoperabilidade não é considerada em muitas aplicações resultando em uma série de barreiras que impedem a continuidade das PoCs. Grande parte desses obstáculos estão mais concentrados em tomadas de decisões estratégicas e em definição mais assertiva sobre a melhor solução a ser empregada na organização.

No Brasil, o termo Indústria 4.0 tem sido usado mais como referência ao conceito da Quarta Revolução Industrial e tudo o que ele emprega na prática. Algumas organizações têm dado o nome “Transformação Digital” que está mais voltado ao aspecto estratégico do que físico. A Transformação Digital relaciona a transformação da economia e da sociedade mediante o sistemático uso de tecnologias de comunicação e informação impactando diretamente nas áreas de negócios e na produtividade do trabalhador (VDI, 2017). Diante dessas duas abordagens tem sido observado inúmeras iniciativas de inovação sendo aplicadas de forma desorganizada acarretando em resultados não satisfatórios. As organizações não procuram visualizar as referências de mercado que podem vir a ser um espelho para um primeiro passo a ser adotado. Além disso, não há um estudo sobre as limitações técnicas e de estratégia que as companhias possuem, sendo comum descobrir certas barreiras durante o processo de implementação. Sendo assim, torna-se complexo definir a melhor tecnologia a ser adotada sem uma embasamento conceitual e diagnóstico consistente. Uma Prova de Conceito necessita ter uma visão clara e ágil de todos os elementos que a compõem para que a sua execução seja bem-sucedida. Dessa forma torna-se fundamental a identificação de requisitos e tecnologias que constitua uma arquitetura referencial, um diagnóstico que possibilite avaliar a maturidade técnica e estratégica da empresa

e, por fim, a definição da solução adequada que compõe a arquitetura funcional do experimento. Esta é a orientação proposta no presente trabalho.

A Arquitetura Referencial refere-se a etapa onde se levantam os principais atributos, critérios e tecnologias dos projetos digitais envolvidos, direcionados ao conceito da I4.0, com objetivo de relacioná-los, através de métodos de tomada de decisão, afim de encontrar a melhor solução frente as referências existentes. O *framework* RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model for Industrie 4.0*) apresenta-se como um relevante referencial tendo como foco orientar o desenvolvimento de um modelo de referência, sob um ponto de vista mais técnico, através de diferentes camadas de atuação desde aspectos voltados ao chão de fábrica até decisões estratégicas das áreas de negócios (Schweichhart et al., 2015). A etapa de Avaliação de Maturidade tem como objetivo mensurar o potencial da empresa para implementação de novos conceitos da I4.0. Nela as dimensões de interoperabilidade como *Business*, *Process*, *Services* e *Data* são envolvidas para suporte à identificação de quais as barreiras e incidentes sobre projetos digitais. Abordagens similares já existem na literatura, como o modelo de avaliação de maturidade da Acatech que relaciona aspectos estratégicos, organizacionais, culturais e de serviços (Schuh et al., 2017). Por fim, na etapa propositiva concebe-se uma Arquitetura Funcional, com base nas informações já adquiridas nas etapas anteriores, fornecendo a melhor solução para a companhia analisada sob os requisitos especificados.

Sob o ponto de vista de planejamento organizacional, o *framework* da consultoria Capgemini apresenta elementos propositivos de como desenvolver a I4.0, dentro da empresa, de forma mais transversal envolvendo diferentes atores e tomadas de decisão (Bechtold et al., 2014). Tais elementos, fornecem dados relevantes à concepção de um modelo de execução de Provas de Conceito que permita a sua conclusão em curto espaço de tempo com impacto significativo nas áreas de negócios envolvidas.

Uma das PoCs com maior repercussão na área de manufatura e que vem apresentando diversos *gaps* na execução é a Manutenção Preditiva. Ela tem como definição prever falhas que poderão acontecer em curto ou médio prazo através de um diagnóstico com base nos dados coletados das máquinas (Borgi et al., 2017). Essas informações são oriundas de sensores ou atuadores (fabricante ou customizada) que são enviadas, sob orientação de tendências e requisitos da

Indústria 4.0, até uma plataforma na Nuvem com o auxílio de um *gateway* de comunicação. Os elementos coletados são correlacionados através de tecnologias de *Big Data Analytics* e geram um diagnóstico que é exibido em *dashboards* para acompanhamento da equipe de manutenção. Dentre as barreiras incidentes, destacam-se a captura de informações pontuais das máquinas (aquisição), a conectividade para enviá-las a um servidor externo (Nuvem), a relação entre os dados coletados e a tomada de decisão eficiente com base no diagnóstico resultante.

A Arquitetura Referencial, para o case mencionado, poderia orientar a escolha do melhor sensor (captura de dados das máquinas), estratégia de transmissão e comunicação (*gateway* que transmite as informações para a Nuvem) e mecanismo de avaliação da saúde do equipamento (usando uma plataforma de *Big Data Analytics*). Para uma Avaliação de Maturidade, diferentes atributos poderiam caracterizar o domínio envolvido de projetos digitais como conectividade, segurança e padronização. O primeiro está diretamente relacionado a qualidade da conexão para enviar os dados até o servidor. O segundo envolve as restrições na divulgação de informações de produção confidenciais da empresa. Por fim, o terceiro tem um viés de levantar as limitações para se obter a solução que seja facilmente replicável a outras áreas com equipamentos e funcionalidades distintas. Finalmente, um exemplo de Arquitetura Funcional para este conceito seria a fundamentação no uso da tecnologia *Watson*, da IBM, com um API (*Application Programming Interface*) de *Analytics* que leia, relacione e forneça um diagnóstico dos dados adquiridos por sensores inteligentes instalados nas máquinas.

Com a adoção de componentes e o encadeamento adequado das etapas descritas (identificação de requisitos e tecnologias – Arquitetura Referencial; diagnóstico – Avaliação de Maturidade; e definição da solução adequada – Arquitetura Funcional), estima-se uma PoC, no domínio ilustrativo colocado de Manutenção Preditiva, que conduza a um resultado mais confiável e compatível com a definição do contexto de um projeto digital.

Considerando o contexto motivacional apresentado, sob as esferas industrial e científica, envolvendo projetos na Indústria 4.0, a seguinte questão de pesquisa se apresenta: **Como possibilitar que as Provas de Conceito (PoCs), diretamente relacionados aos projetos digitais na Indústria 4.0, tenham uma aplicação mais ágil e assertiva dentro de uma determinada organização?**

## 1.1 OBJETIVOS

Para resolver a questão de pesquisa proposta, o seguinte objetivo geral foi proposto, sob o qual fundamenta-se um encadeamento lógico para o desenvolvimento do tema, que se dará pelo cumprimento dos objetivos específicos.

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um *framework* de implementação ágil de Provas de Conceito (PoC), relacionadas a projetos digitais na Indústria 4.0, que detenha uma visão tridimensional sob três abordagens essenciais como Arquitetura Referencial, Avaliação de Maturidade e Arquitetura Funcional, tendo-se a interoperabilidade como elemento transversal de avaliação.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

De forma a alcançar o objetivo geral, foram especificados os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar requisitos e tecnologias para compor uma Arquitetura Referencial;
2. Construir o modelo de avaliação do potencial da organização para implementação do projeto digital requisitado;
3. Com base nos elementos resultantes de (1) e (2), propor uma Arquitetura Funcional envolvendo as tecnologias que mais se adequam ao ambiente da organização para compor o projeto.

## 1.2 JUSTIFICATIVA DE PESQUISA

Além do fato de se aumentar a produtividade das equipes de trabalho e melhorar a performance do processo com custos reduzidos, a Quarta Revolução Industrial também tem como foco aproximar mais os clientes do produto final para interagir com as corporações fornecendo dados fundamentais para que se possa aprimorar o ciclo de vida do mesmo. Com isso, os principais benefícios que motivam a implementação da Indústria 4.0 são: Ganho de Qualidade, Maior Flexibilidade, Alta Produtividade, Padronização do Desenvolvimento, Lançamento Antecipado de

Produtos (Interação com o Cliente Final), Benchmarking Contínuo e Melhorado, Aumento da Competição Global entre Consistentes Áreas de Negócio, Novas Oportunidades no Mercado de Trabalho, Novos Serviços e Modelos de Negócio (Schweichhart et al., 2015).

O relatório da CNI (2016) apontou 10 tecnologias, consideradas digitais, para que os membros das organizações pudessem responder assertivamente se usam e como qualificam a importância da mesma. Segundo a instituição, 48% das empresas afirmaram que utilizam alguma tecnologia mencionada. 31% das corporações declararam que não sabem ou sequer responderam o questionário. 6% disse que usam apenas softwares tradicionais de modelagem CAD/CAM. Finalmente, apenas 15% comentaram que usam tecnologias que estão fora da lista encaminhada. Essa abordagem simples remete a pensar que o Brasil está num estágio muito abaixo, em termos de conhecimento e aplicações práticas, de implantação da I4.0. Reforça-se a real necessidade de instigar as empresas, seja de pequeno, médio e grande porte, a adotar metodologias que incentivem seus colaboradores a trabalhar com conceitos tecnológicos mais sofisticados mesmo tendo pouco conhecimento sobre o assunto. O desenvolvimento de um *framework* RDPM I4.0 (*Referential, Diagnostic and Propositional Model for Industry 4.0*) para tal passa a ser de fundamental importância no cenário nacional.

O uso de uma Arquitetura de Referência serve como base para se alcançar determinado objetivo a curto, médio ou longo prazo de um projeto digital. O termo do inglês *Assessment* (Avaliação) indica uma análise que se faz entre o estado atual (AS-IS) com o estado desejado (TO-BE). Um modelo de referência é o nível de maturidade que se deseja estar em um período estabelecido. Para compor a arquitetura referencial é necessário obter abordagens oriundas da literatura, de cases de aplicação na indústria, opinião de especialistas e de instituições de pesquisa. Para uma Prova de Conceito, a identificação dos elementos que a compõem, por exemplo atributos, critérios e tecnologias, serve para direcionar a ideia que se deseja implementar. Assim, o profissional que irá gerenciar a PoC terá elementos sólidos para justificá-la perante os membros de direção da empresa.

Neste sentido, a importância de um diagnóstico apurado traz grandes benefícios para a empresa. É comum algumas medidas adotadas pelas organizações envolverem somente projetos pilotos e provas de conceito ocasionais onde se avalia mais as questões técnicas. Segundo Schuh et al. (2017), essas

iniciativas são incapazes de demonstrar todo o potencial que os conceitos da Indústria 4.0 detém, sob o escopo do projeto envolvido, uma vez que negligenciam aspectos chave da sua implementação, como a organização estrutural e cultural da companhia. Em casos das indústrias brasileiras, tem se notado que muitas PoCs aplicadas não refletem diretamente em processos reais e críticos e, conseqüentemente, limitam a expansão da esfera de inovação tecnológica como um todo. Sendo assim, o diagnóstico ideal deve abordar elementos essenciais sob três óticas: conceito, organização e tecnologia. Estes apresentam uma relação muito estreita a perspectiva da interoperabilidade preconizadas pelo *framework* de Chen e Daclin (2010) como *Business* (refere-se a forma de gestão em diferentes níveis da organização fornecendo distintos modelos de tomada de decisão, métodos de trabalho, legislação e aspectos culturais), *Process* (possibilita que todos os processos trabalhem em conjunto fornecendo os serviços necessários), *Services* (preocupada em identificar, compor e operar, de forma conjunta, várias aplicações resolvendo problemas sintáticos e semânticos) e *Data* (refere-se a operação em conjunto com diferentes modelos de dados). A inserção destas perspectivas no estudo é muito promissora visto que a nova revolução industrial necessita de uma mudança na organização não só na parte técnica, mas também em critérios de gestão e mudança cultural.

A Arquitetura Funcional possibilita que a inserção da tecnologia seja condizente com a realidade da infraestrutura da organização. Os ganhos com um modelo bem desenvolvido estão diretamente relacionados ao tempo e ao custo da execução de uma Prova de Conceito. Tendo em mãos todas as limitações existentes pelo lado da empresa, pode-se, por exemplo, contratar o fornecedor que possui a melhor solução para o problema em questão já informando a ele os elementos necessários para adaptar seu produto a realidade da companhia, sem a necessidade de constantes revisões no caderno de encargos. Outro fato que merece destaque, é que as iniciativas voltadas a I4.0 podem conduzir a um objetivo mais específico se comparada com a forma como são desenvolvidas atualmente. Todo o processo poderá gerar ganhos a área de negócios em curto prazo chamando a atenção de membros mais estratégicos da empresa.

Tendo em vista todas as justificativas mencionadas, pode-se afirmar que esta pesquisa propiciará contribuição para o mundo corporativo com interesse na adoção dos conceitos da Indústria 4.0 e na condução ágil e assertiva dos projetos digitais

que se defrontam com inúmeras barreiras. Com a proposta do *framework*, todo o processo será melhor documentado e servirá de elemento referencial para projetos futuros que tem uma relação de dependência com outros conceitos disruptivos.

### 1.3 ABORDAGEM METODOLÓGICA UTILIZADA

Este trabalho tem como objetivo construir e aplicar um *framework* para implementação ágil de PoCs para a Indústria 4.0. Dessa forma, foram definidos três elementos para descrever a sequência de atividades da pesquisa: Etapas, Atividades e Método. O trabalho consiste em quatro etapas: Revisão de Literatura, Construção do *Framework*, Avaliação do Modelo e Geração de Conhecimento.

Em relação ao método proposto, três abordagens foram escolhidas: Pesquisa Exploratória, Pesquisa Experimental e Estudo Aplicado. A primeira refere-se a Revisão de Literatura em cima de elementos que corroboram com a pesquisa. A segunda está diretamente relacionada a construção do *framework* tendo como base os conceitos oriundos do referencial bibliográfico. Os estudos de caso aplicados em uma empresa do setor automotivo brasileiro também estão inclusos, compondo assim o Capítulo 03, para que se contextualize as dificuldades que se apresenta na execução das PoCs de forma a ter subsídios mais robustos para a concepção da metodologia proposta na pesquisa. A aplicação prática que irá apresentar a parte instrumental do *framework* desenvolvido consiste na PoC de Rastreabilidade de Embalagens aplicada na área de logística.

A Figura 01 apresenta toda a Abordagem Metodológica adotada nesta pesquisa. Nela é possível observar as atividades pertencentes a cada etapa do trabalho.

A “Revisão de Literatura” abordará elementos da Indústria 4.0, interoperabilidade, métodos multicritérios de tomada de decisão e estudos consolidados de consultorias que tem apresentado conteúdo significativo sobre o tema.

Na etapa de “Construção do *Framework*” serão definidos os conceitos dos atributos, requisitos funcionais, tecnologias aplicáveis e barreiras de interoperabilidade. Posteriormente, a descrição de todo o procedimento metodológico será feita com base na escolha dos métodos multicritério.

Na sequência, tem-se a etapa de instrumentalização do modelo denominada “Avaliação do Modelo” para que se possa avaliar como será empregada a metodologia proposta e verificar a qualidade do resultado que está sendo obtido em cada estágio de evolução. Por fim, em “Geração de Conhecimento” tem-se a consequente análise dos resultados, onde se inclui também as conclusões do trabalho e as devidas propostas de melhoria que podem ser feitas para o *framework* concebido.

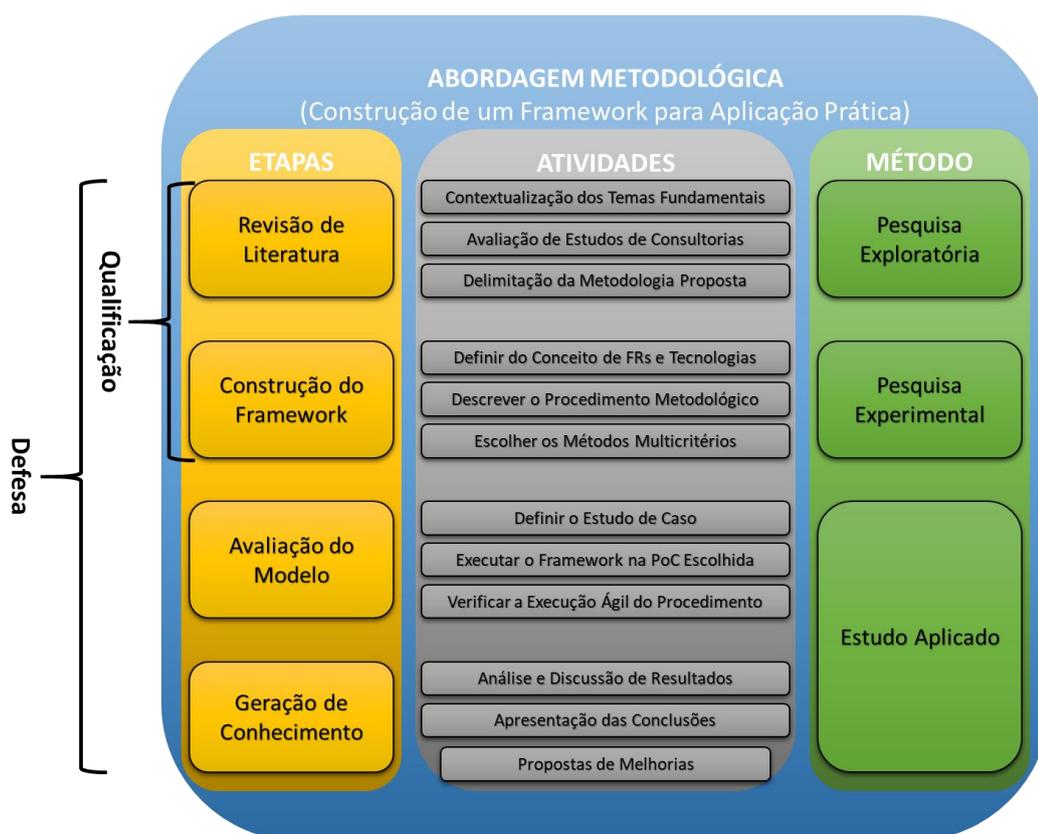


Figura 01 - Abordagem metodológica de pesquisa.

FONTE: O AUTOR

#### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura do documento foi desenvolvida com base na abordagem metodológica descrita na Figura 01. O Capítulo 02 fará a apresentação da Revisão de Literatura com os elementos necessários para a contextualização da pesquisa. O Capítulo 03 abordará os casos de aplicação na indústria automotiva que não estão sendo bem-sucedidos devido as barreiras existentes durante a execução da PoC. O Capítulo 04 relatará toda a estrutura do *framework* proposto descrevendo todo o

processo de execução dos métodos de tomada de decisão e o levantamento dos requisitos funcionais, tecnologias, atributos e barreiras de interoperabilidade. O Capítulo 05 apresentará os resultados obtidos para o contexto da PoC de Rastreabilidade de Embalagens. O Capítulo 06 tratará da análise dos dados compilados e da contribuição dada as equipes de trabalho responsáveis pela implementação do case. Finalmente, tem-se o Capítulo 07 que detalhará a conclusão do trabalho destacando possíveis limitações da pesquisa e demais melhorias que podem aprimorar o *framework* desenvolvido.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A Indústria 4.0 é uma tendência de mercado que impactará diretamente as organizações nos próximos anos. Será exigido, cada vez mais, o aumento de interoperabilidade entre os sistemas e equipamentos existentes no chão de fábrica devido ao uso e interatividade de tecnologias cognitivas e de manipulação de dados. Para facilitar a introdução da Quarta Revolução Industrial e os conceitos que envolvem interoperabilidade e os projetos digitais é essencial tomar decisões mais assertivas. Neste sentido, a utilização de métodos multicritério como o AHP e Promethee podem trazer relevante suporte para modelagem e análise do espaço de avaliação e decisão envolvidos. O levantamento de critérios e atributos de avaliação deve seguir como referência os *frameworks* estratégicos propostos pelas consultorias Capgemini, Acatech e RAMI 4.0. A Seção 2.1 mencionará a diversas contextualizações sobre o tema I4.0, os principais benefícios, as tendências e o impacto nas organizações. A Seção 2.2 mencionará os *frameworks* da I4.0 com maior relevância na pesquisa proposta. As Seções 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3 comentarão sobre os *frameworks* com abordagem estratégica (Capgemini), técnico (RAMI 4.0) e de avaliação de maturidade (Acatech), respectivamente. A Seção 2.3 abordará o tema Interoperabilidade apresentando o *framework* adotado para a pesquisa e os conceitos relacionados as barreiras. A Seção 2.4 falará sobre os métodos multicritérios de tomada de decisão. As subseções que vem na sequência, 2.4.1 e 2.4.2, explanarão tecnicamente os métodos AHP e Promethee, respectivamente. Por fim, a Seção 2.5 fará a considerações finais do capítulo

### 2.1 INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 (I4.0) foi mencionado pela primeira vez na feira de Hannover em 2011. Ele significa a integração de diversos conceitos tecnológicos que terão impacto na gestão organizacional da empresa e na sociedade. A comunicação entre equipamentos é um dos pontos mais críticos da I4.0 devido as diferentes interfaces e protocolos de comunicação que existem entre eles. Novas tecnologias estão surgindo para facilitar a comunicação entre diversos tipos de software e hardware, como a Internet das Coisas (IoT) (Vermesan et al., 2014),

*Machine-to-Machine* (Gyrard et al., 2014) e *Cyber-Physical Systems* (CPS) (Acatech, 2011) dentre outras.

A evolução tecnológica da indústria vem ocorrendo desde o século XVIII, conforme mostra a Figura 02. Com a mecanização, a 1ª Revolução Industrial trouxe o aumento de eficiência; a 2ª Revolução Industrial levou a eletricidade para as empresas possibilitando o surgimento da produção em massa; na 3ª Revolução Industrial surgiu a tecnologia de informação junto com softwares e hardwares de acompanhamento de produção e processos que melhoraram a gestão de recursos e custos das organizações. A 4ª Revolução Industrial formará uma rede virtual de informações com objetos físicos (Kagermann et al., 2013).

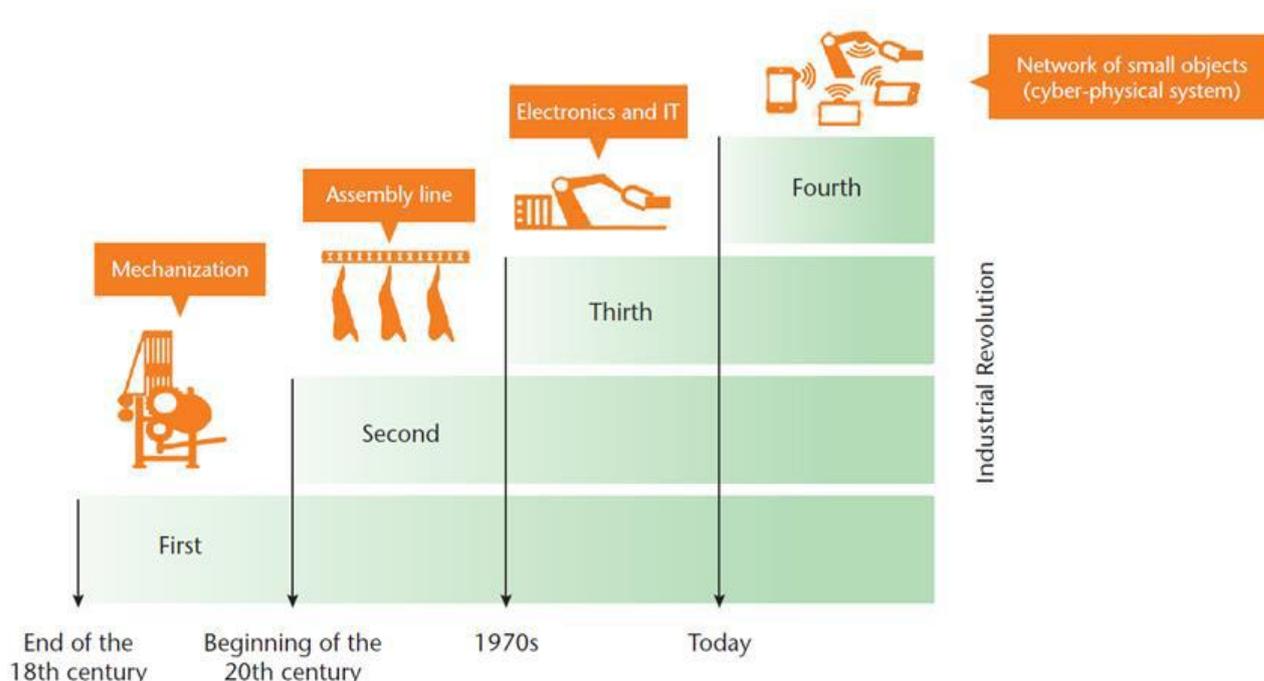


Figura 02 - Linha Histórica da Revolução Industrial

FONTE: Posada et al. (2015).

A literatura apresenta grandes esforços para definir a Indústria 4.0:

- i) "Indústria 4.0 is the integration of complex physical machinery and devices with networked sensors and software, used to predict, control and plan for better Business and societal outcomes" (Industrial Internet Consortium, 2013);
- ii) "The state that the Indústria 4.0 is a new level of value chain organization and management across the lifecycle of products" (Kagermann et al., 2013);
- iii) "Indústria 4.0 is a collective term for technologies and concepts of value chain organization. Within the modular structured Smart Factories of Indústria 4.0, CPS monitor physical processes, create a virtual copy of the physical world and make decentralized decisions. Over the IoT, CPS communicate and cooperate with each other and humans in real time. Via Internet of Services (IoS), both internal

and cross organizational Services are offered and utilized by participants of the value chain” (Hermann et al., 2015).

Em pesquisas de revisão de literatura, Sanin et al. (2016) e Liao et al. (2017) reportam-se os seguintes objetivos para Indústria 4.0:

- i) A produção precisa se adaptar para pouca, média e alta demanda variando a tipo de produto. Para isso recursos de automação e IT são necessários;
- ii) Rastreamento e auto reconhecimento de peças e produtos através de máquinas inteligentes (*Smart Machine*);
- iii) Melhor interação entre homem-máquina (IHM) incluindo a convivência com os robôs e novas maneiras de se interagir no chão de fábrica;
- iv) Otimização da produção baseado na comunicação das ferramentas da Internet das Coisas (IoT); e
- v) Mudança radical no modelo de negócios que contribua para mudar as formas de interação com a cadeia de valor.

A implementação da Indústria 4.0 requer seis princípios que podem ser derivados dos seguintes componentes (Blanchet et al., 2014):

- i) **Interoperabilidade:** A habilidade de componentes físicos, humanos e sistemas (*Smart Factory*) de se conectar e se comunicar com cada um;
- ii) **Virtualização:** Cópia virtual de objetos físicos;
- iii) **Descentralização:** A habilidade das máquinas tomarem decisões por conta própria;
- iv) **Capabilidade em tempo real:** Capabilidade para obter e analisar os dados em tempo real;
- v) **Orientação de serviços:** Os serviços das empresas, CPS (*Cyber Physical System*) e humanos estão disponíveis no IoS (*Internet of Services*) e podem ser utilizados por outras pessoas; e
- vi) **Modularidade:** Flexível adaptação de *Smart Factories* para alterar requerimentos com o objetivo de trocar e expandir os módulos individuais.

Para conseguir alcançar esses princípios, a I4.0 precisa ser implementada considerando duas metodologias: (1) Existem tecnologias básicas e experiências

que podem ser adaptadas para encontrar requerimentos especiais de tecnologia de manufatura; e (2) O trabalho de pesquisa e desenvolvimento pode ser conduzido dentro de novas localizações e novos mercados. Neste contexto, três características são levantadas:

- i) **Integração horizontal:** Refere-se ao uso dessas tecnologias para trocar e gerenciar informações através de diferentes agentes, como a interação entre cadeias de valor de processos de manufatura, sistemas de gerenciamento de recursos, logística e marketing;
- ii) **Integração vertical:** Refere-se à integração de vários sistemas de IT em diferentes níveis de hierarquia criando sistemas reconfiguráveis e flexíveis; e
- iii) **Integração *end-to-end*:** Refere-se a visão holística de engenharia digital onde o objetivo é reduzir os *gaps* entre concepção e fabricação do produto.

A Indústria 4.0 irá aumentar a complexidade e a interoperabilidade entre os sistemas, porém trará benefícios tais como (Posada et al., 2015):

- i) **Maior flexibilidade:** Procedimentos de produção são mais estruturados e dinâmicos;
- ii) **Redução de *lead-times*:** A rápida transição de dados entre máquinas e sistemas permitirá que as tomadas de decisão sejam mais ágeis;
- iii) **Customização de demanda de produtos:** O cliente poderá solicitar um produto ou um lote do mesmo em um curto espaço de tempo onde todo o processo se adaptará para atender a requisição; e
- iv) **Redução de custos:** Gastos com energia, pessoal e manutenção serão drasticamente reduzidos e serão investidos no processo de automatização dos sistemas de manufatura.

## 2.2 FRAMEWORKS DA INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 requer um planejamento estratégico bem desenvolvido para que a organização obtenha resultados em curto, médio e longo prazo. Para isso é necessário considerar aspectos internos e externos que envolvam o ecossistema

onde a empresa está presente. Do mesmo modo, se deve envolver critérios técnicos, pois a implementação da Transformação Digital necessita de aprimoramento tecnológico para que se integre e acesse os dados dos processos de forma ágil e se tenha a possibilidade de tomar decisões em qualquer lugar. Para se garantir a evolução assertiva da companhia rumo a Quarta Revolução Industrial é fundamental conhecer como está o seu nível de maturidade frente a atributos cruciais, impostos no mundo atual, para uma corporação. Com isso, um *assessment* poderá ser desenvolvido tendo como foco integrar distintas áreas da empresa localmente ou em outros sites que compõem o grupo que está sendo avaliado.

Desde 2013, alguns *frameworks* voltados a I4.0 estão sendo divulgados por grandes consultorias com equipes especializadas no tema. Nesta pesquisa, será abordado três deles que têm sido adotados como referenciais em muitos trabalhos acadêmicos e evocados pela comunidade industrial. Sob o ponto de vista estratégico, a seção 2.2.1 trará o modelo Capgemini que tem se destacado por fornecer uma visão da indústria ideal com base em dados coletados em organizações alemãs. O *framework* RAMI 4.0, citado na seção 2.2.2, apresenta uma arquitetura voltada a implementação de tecnologias para que esta ocorra rapidamente tendo todas as variáveis mapeadas. Por fim, mas não menos importante, o modelo de avaliação da Acatech para analisar o índice de maturidade das empresas para implementação da Indústria 4.0 (Seção 2.2.3).

### **2.2.1 Modelo Capgemini - Estratégico**

O *framework*, apresentado na Figura 03, foi desenvolvido pela *Capgemini Consulting* (Bechtold et al., 2014). O modelo é constituído de quatro pilares básicos da Indústria 4.0: *Smart Solutions*, *Smart Innovations*, *Smart Supply Chain* e *Smart Factory*. Existe também os fatores externos que interferem na execução da Indústria 4.0, como: “*Agile Operating Model*”, “*Governance & Processes*”, “*Digital Infrastructure*” e “*People Leadership & Change*”. A arquitetura também inclui as tecnologias da Internet das Coisas (IoT), como “*Mobile*”, “*Cloud*”, “*Analytics*”, “*M2M*”, “*Community*”, “*3D-Printing*” e “*Robotics*”.

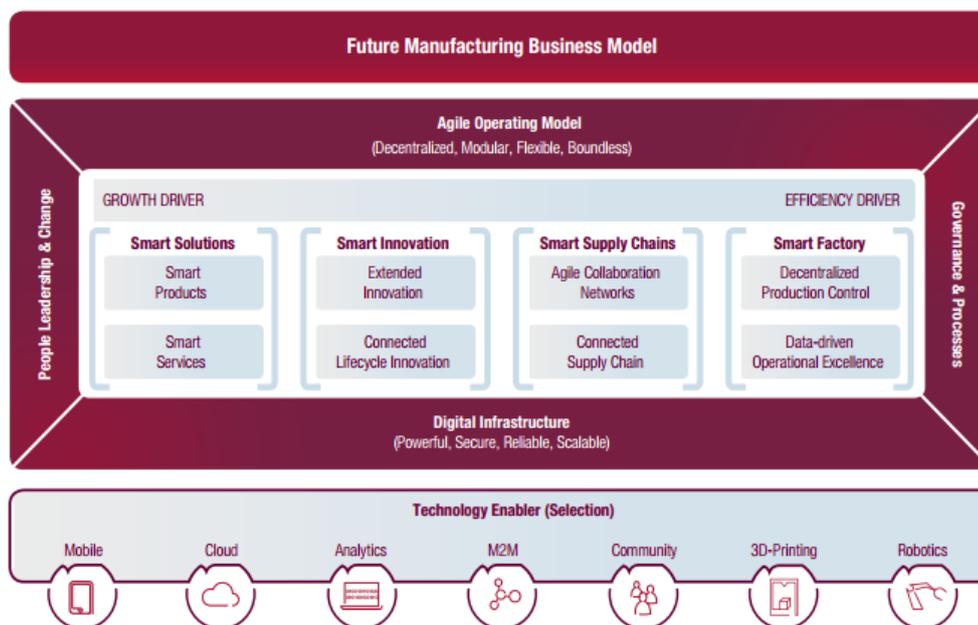


Figura 03 - Framework da Indústria 4.0.

FONTE: Bechtold et al. (2014).

*Smart Solutions* é constituído por *Smart Products* e *Smart Services*. *Smart Products* são *Cyber Physical Systems* (CPS) fornecendo novos recursos e funções baseadas em conectividade e *Smart Services* abre caminho para o crescimento dos negócios onde novas tecnologias oferecem e habilitam a digitalização de serviços de entrega. *Smart Innovation* é composto por *Extended Innovation* e *Connected Lifecycle Innovation*. *Extended Innovation* faz referência a iniciativas tecnológicas vindas de fora da organização (e.g. startups, institutos de pesquisa e universidades). O uso de soluções oriundas de *startups* tem sido uma tendência nas grandes organizações brasileiras. Inovação conectada com o ciclo de vida do produto trata da evolução do mesmo através de informações coletadas do processo de produção, do estudo de mercado e do cliente final. O uso da plataforma *Big Data & Analytics* tem sido fundamental na análise desses dados de aprimoramento do produto desenvolvido. Sistemas PLM (*Product Lifecycle Management*) avançados formam o *Connected Lifecycle Innovation*. Eles podem ser acessados de qualquer lugar, especialmente através de aplicativos *mobile*. *Smart Supply Chain* é formado por *Agile Collaboration Networks* e *Connected Supply Chains*. *Agile Collaboration Networks* descreve a mudança da direção da integração horizontal, permitindo que os fabricantes se concentrem em suas competências podendo oferecer produtos personalizados em qualquer mercado. *Connected Supply Chains* são formados através de redes de fornecimento verticais permitindo a integração e a

automatização de processos físicos e proporcionando aumento na transparência. Por fim, *Smart Factory* é constituído por *Decentralized Production Control* e *Data-Driven Operational Excellence*. *Decentralized Production Control* é formado por uma rede de máquinas com auto-organização e configuração de processos permitindo que o controle da produção seja descentralizado. A rica geração de dados do processo de produção fornece uma base sólida para *Data-Driven Operational Excellence* (Bechtold et al., 2014).

A Tabela 01 apresenta a estrutura hierárquica do *framework* Capgemini para o pilar de *Smart Solutions*.

Pillar	Sub-Pillar	Sub-Pillar Feature	Critéria	Influence on key success factors – Evaluation Capgemini			
				Short-term revenue driver (new sales opportunities)		Long-term revenue driver (improved customer relationships)	
				New business opportunities	Higher value add through customization	Customer experience	Service level
Smart Solutions	Smart Products	Embedded systems (sensors, actuators & computing power, connectivity)	Data generation	●	●	●	●
			Autonomous decision-making	●	●	●	●
	Smart Services	Advanced analytics capabilities	Predictive action triggering	●	●	●	●
			Process transparency	●	●	●	●

Tabela 01 – Impacto nos negócios sob a ótica do pilar de *Smart Solutions*.

FONTE: Bechtold et al. (2014) (Adaptado).

O pilar de *Smart Solutions* é composto por *Smart Products* e *Smart Services*. A principal característica de *Smart Products* é a conexão com Sistemas Embarcados. Sensores são de fundamental importância para se monitorar a condição real de uma máquina, por exemplo, no seu ambiente de operação, oferecendo dados que facilitem a identificação de problemas voltados a manutenção do equipamento. Dois critérios surgem com base nesta característica: Geração de Dados e Autonomia para Tomadas de Decisão. O primeiro relaciona a quantidade e a qualidade das informações que esses dispositivos irão gerar. O segundo relaciona o controle do processo tendo como referência os dados coletados. Esses elementos auxiliam na gestão de recursos internos e de produção com o objetivo de melhorar a performance, garantir qualidade e diminuir os custos. O sub-pilar de *Smart Services* tem como característica principal a Capacidade de Análise de Dados. Como os produtos fornecem muitas referências diagnósticas se tem uma Ação Preditiva mais eficiente possibilitando uma Transparência no Processo que permita que falhas sejam levantadas de forma mais ágil.

A consultoria Capgemini fez um ranqueamento desses critérios considerando alguns fatores críticos de sucesso na Indústria 4.0 para *Smart Solutions*. A legenda criada pela consultoria possui a seguinte descrição: ●, ● e ○ (Alto, Médio e Baixo Impacto). Percebe-se que a Geração de Dados e a Ação Preditiva são elementos de forte impacto nas receitas a curto prazo. A Tomada de Decisão e Transparência de Processos requerem um histórico de informações mais detalhada e confiável, por isso se tem um ganho de receita somente a longo prazo. Na Tabela 02, vê-se um dos campos com uma cor cinza mais escura do que as demais o que significa dizer que este critério é fundamental para sustentação do pilar. A consultoria classifica a relação entre Geração de Dados e Experiência do Consumidor como o item mais crítico de *Smart Solutions* devido a integração dos sistemas embarcados com atividades de serviços (e.g. manutenção preditiva) gerando uma adaptação dos produtos que otimizam suas condições de uso (e.g. minimizando o consumo de energia) e possibilitando uma visualização, no chão de fábrica, mais sincronizada e descritiva.

Pillar	Sub-Pillar	Sub-Pillar Feature	Criteria	Influence on key success factors – Evaluation Capgemini		
				New products: idea generation	Time-to-market	Product & service customization
Smart Innovation	Extended Innovation	Digital innovation platforms & community platforms integration	Outside-in innovation	●	●	●
			Inside-out innovation	●	●	●
	Connected Lifecycle Innovation	Advanced analytics applied for innovation generation	Internet and patent scanning for innovation impulses	●	●	○
			Analysis of lifecycle data for innovation impulses	●	●	●

Tabela 02 – Impacto nos negócios sob a ótica do pilar de *Smart Innovation*.

FONTE: Bechtold et al. (2014) (Adaptado).

O pilar de *Smart Innovation* tem como objetivo integrar a inovação da empresa aos conceitos tecnológicos da I4.0. Ele é composto por dois sub-pilares: Inovação Estendida e Ciclo de Vida de Inovação Conectada. A visão da Capgemini para Inovação Estendida é que ela envolve a criação e a distribuição de ideias através das fronteiras de uma organização, já o Ciclo de Vida de Inovação Conectada leva em consideração os dados do ciclo de vida de um produto como a fonte para a inovação. A principal característica de Inovação Estendida é a Digitalização de Plataformas de Inovação & Plataformas de Integração da Organização. Ele se divide em dois critérios: Inovação de Fora para Dentro e de Dentro para Fora. Eles são habilitados para o uso de tecnologias digitais, tais como

plataformas de comunicação internas ou plataformas colaborativas de ferramentas PLM, possibilitando a conexão de recursos de conhecimento. O Ciclo de Vida de Inovação Conectada tem como base a Aplicação Avançada de Análise de Dados para Geração da Inovação, dados esses que vem da vida série dos produtos. Ela se divide nos seguintes critérios: Internet e Pesquisa de Patentes para Impulsionar a Inovação e Análise do Ciclo de Vida dos Dados para Impulsionar a Inovação. A Tabela 03 mostra que o item considerado o mais crítico associa Inovação de Dentro para Fora com um dos requisitos, levantados pela consultoria, que relaciona I4.0 com inovação chamado de Novos Produtos: Geração de Ideias. Isso se deve por três fatores: (1) procurar parceiros para desenvolver novos *use cases* e fazer aprimoramentos da inovação dos produtos melhorando sua proposta de valor (e.g. aplicações industriais); (2) receber o feedback da solução e refinar com a inovação original e (3) difundir a utilização da tecnologia proprietária para diminuir o risco da não adoção (Bechtold et al., 2014).

Pillar	Sub-Pillar	Sub-Pillar Feature	Criteria	Influence on key success factors – Evaluation Capgemini				
				Supply chain efficiency			Growth through improved value proposition	
				Operating cost	Lead time	Forward visibility	Customer satisfaction	Enlarged solution portfolio
Smart Supply Chains	Agile Collaboration Networks	Online portals, marketplaces	Worldwide business partner selection	●	●	○	●	●
		Interfaced manufacturing platforms	Cross-company CAx	●	●	○	●	●
		3D printing	On-site production, elimination of transportation steps	●	●	●	●	●
	Connected Supply Chain	End-to-end track & trace	Process automation	●	●	●	●	○
			Inventory optimization & forecasting	●	●	●	●	○
		Advanced analytics	Flow visualization & optimization	●	●	●	●	○

Tabela 03 – Impacto nos negócios sob a ótica do pilar de *Smart Supply Chain*.

FONTE: Bechtold et al. (2014) (Adaptado).

O pilar de *Smart Supply Chain* une toda a cadeia de suprimentos de uma companhia no formato digital. Os seus sub-pilares de base são Redes Colaborativas Ágeis e Cadeia de Suprimentos Conectada. A Capgemini destaca que na Indústria 4.0, a colaboração estrutural rígida das empresas será substituída por parcerias de negócios baseadas em projetos. Essa metodologia *ad-hoc* de colaboração será necessária para fornecer soluções adaptáveis ao cliente. Através das Redes Colaborativas Ágeis, as organizações de manufatura poderão aproveitar as oportunidades oriundas das competências e capacitações do mercado globalizado.

As suas três características principais são Mercados e Portais *Online*, Plataformas de Fabricação Interconectadas e Manufatura Aditiva (Impressora 3D). Cada um dos atributos citados possui um subsequente critério: Seleção de Parceiros de Negócios em Todo o Mundo, *Cross Company CAX* e Produção Local, Eliminação de Etapas de Transporte. A Cadeia de Suprimentos Conectada será excelência operacional em qualquer nível estratégico da I4.0. Com objetivo de gerenciar a crescente complexidade da cadeia de abastecimento, os fluxos precisam ser mapeados continuamente em plataformas digitais. São características deste sub-pilar: Rastreamento Fim a Fim e Análise de Dados Avançada. A primeira possui dois parâmetros que são Automação do Processo e Otimização & Previsão de Estoque e a segunda somente Otimização & Visualização do Fluxo de Dados. Segundo a consultoria, a Otimização & Previsão de Estoque baseado em Rastreamento Fim a Fim é crucialmente importante para obtenção da Visibilidade Antecipada. Os principais benefícios desta relação são a localização da mercadoria durante o transporte, níveis de estoque em toda a fábrica, a adaptação do produto (tal como atualizações de *software*, parâmetros de otimização e condições de uso) e, por último, dados em tempo real sobre o consumo permitindo a produção puxada (Bechtold et al., 2014).

Pillar	Sub-Pillar	Sub-Pillar Feature	Criteria	Influence on key success factors – Evaluation Capgemini			
				Process cost	Batch size	Lead time	Product quality
Smart Factory	Decentralized Production Control	Decentralized production control	Flexible production planning & control	●	●	●	○
			Automated machine configuration	●	●	●	●
	Data-driven Operational Excellence	Integrated data bases and advanced analytics	Detection of inefficiencies	●	●	●	●
			Prediction of quality issues	●	○	●	●

Tabela 04 – Impacto nos negócios sob a ótica do pilar de *Smart Factory*.

FONTE: Bechtold et al. (2014) (Adaptado).

O pilar de *Smart Factory* aborda sobre as influências da Indústria 4.0 no ambiente fabril. Ele é composto por dois sub-pilares: Controle de Produção Decentralizado e Excelência Operacional Baseada em Dados. Os CPPS (*Cyber Production Physical System*) e CPS (*Cyber Physical System*) transformarão radicalmente o planejamento e controle de produção. Ao invés de se controlar o chão de fábrica, através de uma central MES (*Manufacturing Execution System*), os sistemas de produção cyber-físicos serão capazes de tomar decisões a nível local permitindo, assim, um Controle de Produção Decentralizado. Ele possui duas

características principais que são o Planejamento & Controle de Produção Flexível e Configuração Automatizada de Máquinas. As fábricas inteligentes irão produzir uma grande quantidade de dados que combinados com as mais recentes tecnologias e conhecimento para se fazer as análises necessárias, ajudarão a alcançar níveis nunca imaginados e excelência da produtividade e qualidade do produto final. Essa é a definição de Excelência Operacional Baseada em Dados que possui a característica de Integração de Bases de Dados e Análises Avançadas dos mesmos. Os seus critérios são a Detecção de Ineficiências e a Previsão de Problemas de Qualidade. Observando a Tabela 04, conclui-se que a Detecção de Ineficiências, através de *Big Data Analytics*, é crucial para reduzir custos do processo. A detecção preditiva ou manutenção preditiva é fundamental para que a fábrica seja sempre eficiente evitando paradas não programadas. Outro ponto importante, é o uso de simulação computacional sofisticada (produtos e processos) garantindo baixo índice de retrabalho.

### **2.2.2 Modelo RAMI 4.0 – Tecnológico**

Segundo Schweichhart et al. (2015), a Indústria 4.0 fará o merge da produção com informações e tecnologias de comunicação e dos dados dos clientes com os elementos oriundos das máquinas. Componentes e equipamentos gerenciarão, de forma autônoma, a manufatura permitindo que se torne mais flexível, eficiente e que resulte da economia de recursos. Além disso, os institutos apontam que a I4.0 trará muitos benefícios dentre eles o aumento da produtividade, produtividade, padronização no desenvolvimento de novos produtos, aprimoramento de processos e continuo *benchmarking*, competição global entre áreas de negócios significativas, novas ofertas de trabalho que integrem as engenharias mecânica, de automação e TI, e finalmente, o surgimento de novos serviços e modelos de negócios que impulsionem distintos setores da sociedade. Outro tópico apontado por eles é a segurança que deve ser considerado o pilar de sustentação das aplicações da Era Digital. Por fim, os pesquisadores definirão alguns pré-requisitos relevantes para iniciar o processo de implementação na indústria: (1) Definição da estrutura de comunicação; e (2) Desenvolvimento de uma linguagem comum com seu próprio vocabulário, sintaxe, gramática, semântica e cultura. De forma a reunir todos os elementos citados, a ZVEI et al. (2015) desenvolveu o *framework* RAMI 4.0, apresentado na Figura 04.

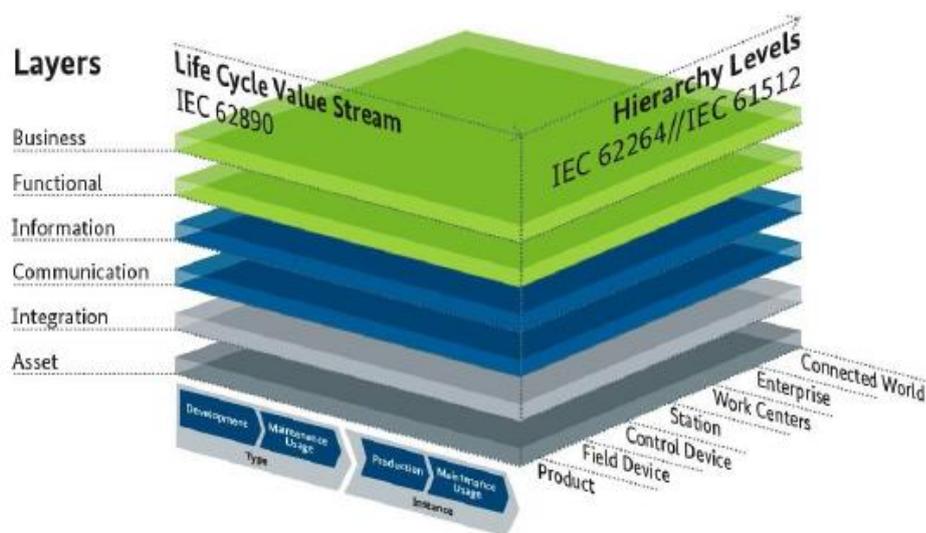


Figura 04 – Overview do modelo RAMI 4.0.

FONTE: ZVEI et al. (2015).

RAMI 4.0 é uma arquitetura orientada a serviços. Ela combina todos os elementos e componentes de TI em uma camada e em um modelo de ciclo de vida do produto. O *framework* distribui os processos complexos em etapas de fácil compreensão incluindo a privacidade dos dados e a segurança de TI.

O RAMI foi desenvolvido para atuar na transição da I3.0 para a I4.0 (Figura 05). No entanto, para se contextualizar as suas camadas é preciso entender a diferença entre as estruturas hierárquicas de integração entre equipamentos, sistemas e protocolos até o nível de gerenciamento estratégico responsável por controlar e tomar as decisões necessárias.

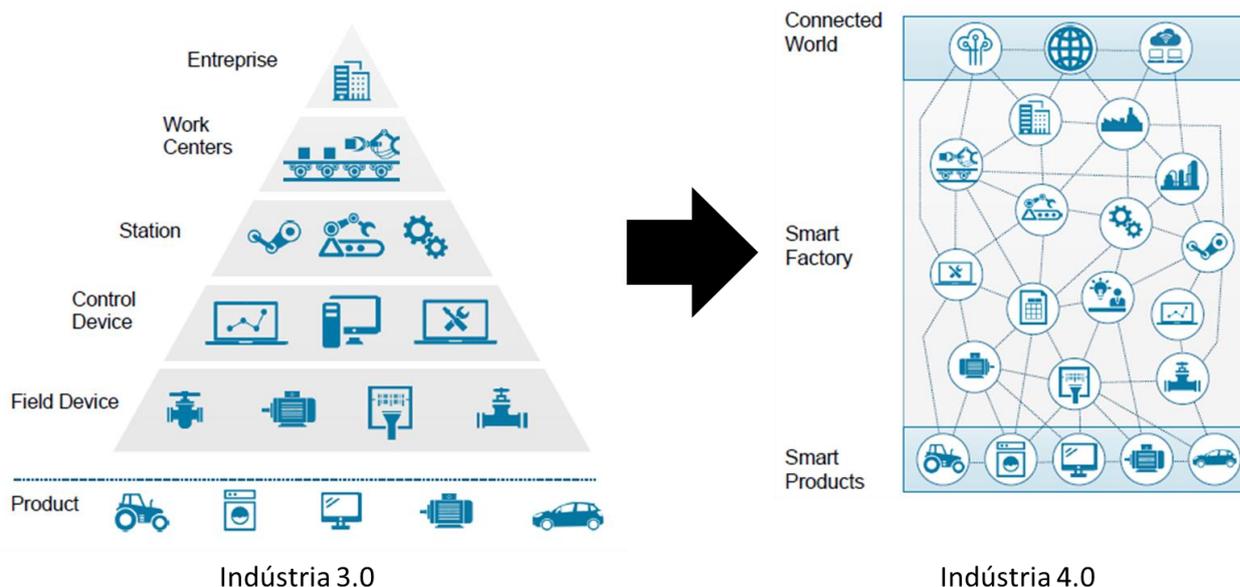


Figura 05 – Comparação entre hierarquia de automação entre a I3.0 e a I4.0.

FONTE: ZVEI et al. (2015) (Adaptado).

A pirâmide que representa a estrutura clássica da Indústria 3.0 contém cinco camadas (*Field Device*, *Control Device*, *Station*, *Work Centers* e *Enterprise*) definidas pela ANSI/ISA-95 (ISA95, 2017). A primeira camada (*Field Device*) consiste em uma terminologia padrão e modelos de objetos que são usados para definir quais informações devem ser trocadas. A segunda camada (*Control Device*) consiste em atributos para cada objetivo definido no *Layer 01*. Os objetos e atributos podem ser usados para fornecer e trocar informações entre diferentes sistemas, mas também podem compor como base relacional de bancos de dados. O terceiro nível (*Station*) concentra-se nas funções e atividades da camada de produção (MES). Ele fornece diretrizes para descrever e comparar os níveis de produção de diferentes sites de forma padronizada. O quarto nível (*Work Centers*) a especificação técnica define modelos de objetos que determinam quais informações são trocadas entre as atividades MES. Os modelos e atributos são a base para o projeto e a implementação de padrões de interface que garantam a flexibilidade e intercâmbio de informações entre diferentes solicitações do MES. E a última camada (*Enterprise*), as operações se conectam e organizam a produção e as atividades através das definições oriundas dos níveis anteriores. O foco da especificação técnica desta interface está contido nos sistemas de controle da organização. Com base nos dados gerados, a operação será descrita tornando o processando mais claro para tomadas de decisão estratégicas (ISA95, 2017). Segundo a Plattform

Industrie 4.0 et al. (2015), uma das consequências desta hierarquia é a produção ser isolada o tempo todo.

Com a introdução da Indústria 4.0, o modelo do tipo pirâmide é desestruturado de forma a conectar todos os dispositivos e todos os níveis estratégicos. A nova estrutura é dividida em três camadas: *Connected World*, *Smart Factory* e *Smart Products*. Em *Connected World* se tem as plataformas externas a empresa que estão captando dados de seus processos internos. Uma das tecnologias mais tradicionais é a Computação em Nuvem (*Cloud Computing*). Com os dados alocados em um servidor externo, que pode ser acessado por qualquer dispositivo *mobile*, a empresa reduz seus custos com infraestrutura de *datacenters* locais e também diminui o tráfego de informações na rede interna. *Smart Factory*, tem a capacidade de conectar todos os dispositivos, equipamentos, maquinários e sistemas de modo que a operação de torne mais flexível e acessível a todos os colaboradores do chão de fábrica. Um dos itens mais requisitados por setores, como a manufatura, tem sido o monitoramento constante do consumo de energia do maquinário que compõem os processos mais críticos. Com o uso de sensores instalados no equipamento, é possível enviar os dados até uma plataforma na Nuvem e gerar gráficos e relatórios em tempo real indicando um diagnóstico mais apurado e determinadas melhorias a serem feitas para aperfeiçoar o processo. Os produtos inteligentes (*Smart Products*) contêm inúmeras informações que impactaram no seu ciclo de vida e aprimoramento tendo como base o uso e *feedback* vindos do cliente final. Dessa forma, a empresa tem a oportunidade de compreender como o mercado está atuando e mensurar os próximos passos estratégicos a serem definidos em curto prazo. A ZVEI et al. (2015) menciona algumas vantagens dessa nova hierarquia para as companhias: (1) Sistemas e máquinas flexíveis; (2) Funções distribuídas através da rede; (3) Participantes interagem cruzando as camadas estabelecidas; (4) Comunicação entre todos os participantes; e (5) Produto está diretamente integrado a rede.

Com base na nova arquitetura empresarial que conecta os elementos do MES com os pertencentes a Quarta Revolução Industrial, a Plattform Industrie 4.0 e ZVEI (2015) definiu os *layers* do RAMI 4.0 conforme mostra a Figura 06. Os *Assets* são os elementos físicos (sensores, atuadores, etc) que compõem o mundo real e fornecem informações pontuais de determinado equipamento. O nível de Integração

(*Integration*) é a forma que esses dados serão transmitidos do mundo real para o mundo digital, ou seja, são protocolos e interfaces de comunicação (OPC-UA, etc).



Figura 06 – Arquitetura do RAMI 4.0.

FONTE: ZVEI et al. (2015).

A camada de Comunicação (*Communication*) é o local onde as informações estarão disponíveis para serem acessadas da forma como é coletada no ambiente físico. A camada de Informação (*Information*) é a estruturação dos dados adquiridos que permitam que se tornem mais claros aos usuários. O nível Funcional (*Functional*) detém o conjunto de elementos que compõem as funções dos *assets* possibilitando que todo o chão de fábrica seja integrado e suas informações compartilhadas garantindo a integração completa do processo. E por fim, a camada de *Business*, que avalia todos os dados gerados para que seja tomada decisões importantes para aprimoramento da produção onde diversas áreas de negócios estão diretamente envolvidas.

A integração entre a arquitetura, o ciclo de vida do produto através das etapas de desenvolvimento, produção e serviços e a hierarquia adotada para a I4.0 é demonstrada na Figura 07.

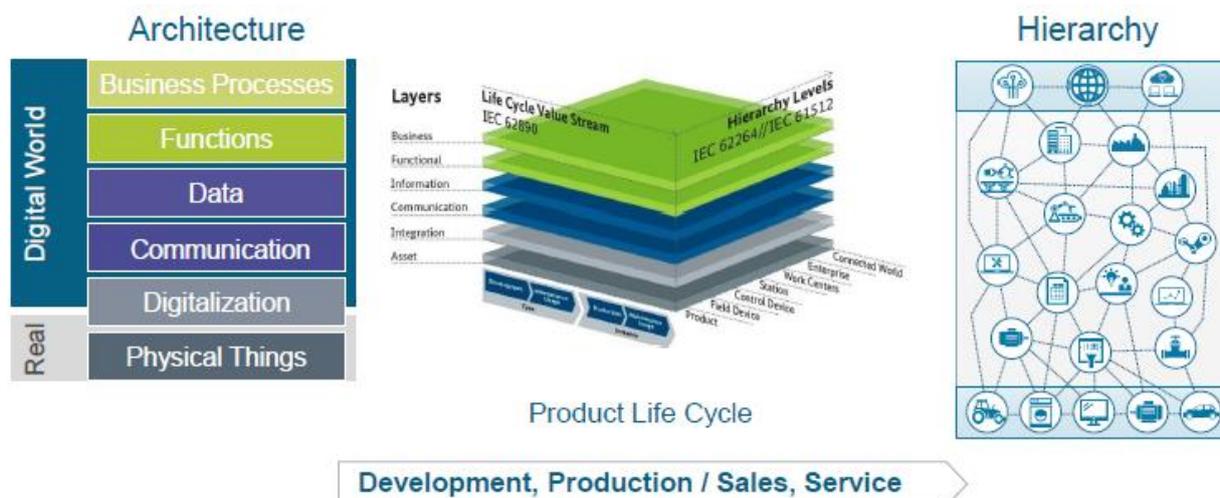


Figura 07 – Integração entre a arquitetura (RAMI 4.0) e a hierarquia, da empresa, para a implementação da I4.0.

FONTE: ZVEI et al. (2015).

### 2.2.3 Modelo de Maturidade Acatech I4.0 – Diagnóstico

A metodologia que avalia o índice de maturidade, desenvolvida pela Acatech (Schuh et al., 2017), ajuda as empresas a determinar em que fase atualmente estão na transição para a Indústria 4.0. Ela avalia sob uma perspectiva tecnológica, organizacional e cultural com foco em processos de manufatura. O caminho para chegar até a Indústria 4.0 será diferente para cada organização. Dessa forma, é fundamental começar a analisar as informações de cada empresa incluindo a situação real e os objetivos estratégicos pré-definidos. Questiona-se quais são os objetivos para os próximos anos, quais tecnologias e sistemas já estão em operação e como eles se interagem com diferentes áreas de negócios. As respostas podem ser usadas para definir o que a companhia precisa para permitir que a introdução da I4.0 seja bem-sucedida. Ressalta-se que as transformações devem acontecer em etapas em um período de tempo estabelecido. Além disso, cada corporação deve tomar as decisões estratégicas sobre os benefícios que se deseja obter, suas prioridades e a sequência com a qual as medidas podem ser adotadas. Sendo assim, a metodologia resulta em um roteiro digital para todas as áreas relevantes com uma abordagem passo a passo para reduzir os custos de investimento e de tempo, proporcionando a compreensão de uma estratégia digital comum para todos os setores interessados. Com isso, a Figura 08 apresenta o fluxo processual para avaliação de maturidade elaborado pela Acatech.

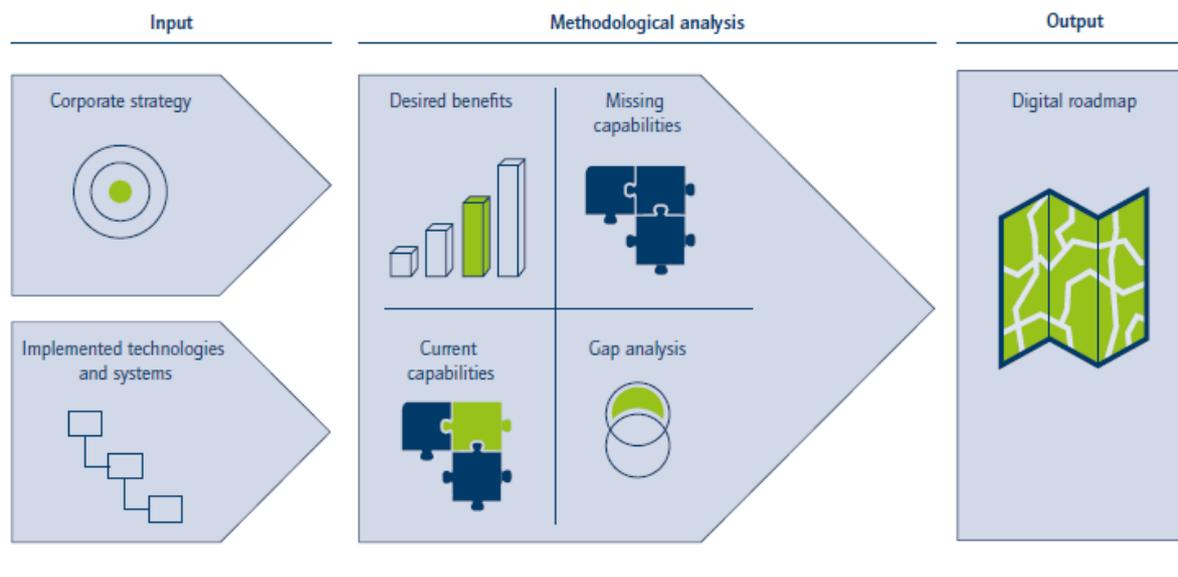


Figura 08 – Metodologia para a introdução da Indústria 4.0.

FONTE: Schuh et al. (2017).

A estrutura do *framework* é baseada em uma sucessão de estágios de maturidade, ou seja, níveis de desenvolvimento baseados em valor que contribuam para que as empresas sejam direcionadas a atender os requisitos básicos da I4.0. Uma vez que o estado desejado da organização dependa da estratégia de negócios definida, cabe a ela decidir qual o nível ideal que representa o equilíbrio de seus custos, capacidades e benefícios que atendam os seus objetivos levando em conta que esses requisitos podem variar ao longo do tempo dependendo do ambiente de negócios interno e externo. Como forma de garantir que todos os aspectos da fabricação sejam considerados, a formatação do modelo se baseia em *Production and Management Framework*. As quatro áreas estruturais do *framework* permitem uma análise abrangente e estabelecem uma série de orientações que identifiquem qual nível da I4.0 a corporação precisa desenvolver.

A introdução da I4.0 envolve uma atualização significativa e constante de competências e capacidades digitais que implicam em grandes mudanças internas. Se a empresa for grande e possui uma hierarquia complexa, pode levar anos para implementar a Indústria 4.0. Por isso que o planejamento se torna fundamental para se garantir a lucratividade, ou seja, crescimento e eficiência, que ocorram em etapas mensuráveis trazendo benefícios visíveis a todas as áreas de negócios. Com o modelo passo a passo é possível obter conquistas em curto prazo fomentando a direção para a Quarta Revolução Industrial. O caminho compreende seis estágios de

desenvolvimento, conforme destacado na Figura 09. Cada um baseia-se no anterior e descreve os requisitos necessário a atingir e os benefícios proporcionados para a empresa. Frisa-se que a capacidade seja construída passo a passo, ou seja, os benefícios da primeira etapa podem ser alcançados com um nível inferior a capacidade requerida no estágio dois.

A primeira etapa é a Informatização (*Computerisation*), uma vez que fornece a base para a digitalização. Nesta fase, diferentes tecnologias de informação são usadas separadamente de outras dentro da organização, o que caracteriza uma falta de integração e interoperabilidade. No segundo estágio (*Connectivity*), a implantação isolada de informações é substituída por tecnologias que garantam que os componentes sejam conectados. Os sistemas de TO (Tecnologia Operacional) fornecem conectividade e interoperabilidade, porém a integração completa entre as camadas de TI e TO ainda não existe. Na terceira etapa (*Visibility*), o uso de sensores permite que os processos sejam mapeados desde o início até o fim com grande número de dados coletados. Com isso é possível manter um modelo digital atualizado do chão de fábrica a todo instante. Sendo assim, esse é um elemento fundamental para os passos posteriores. A quarta fase é da Transparência (*Transparency*) onde a corporação começa a compreender como as suas operações estão funcionando e as análises de causas raiz para problemas identificados durante e depois do ocorrido. A ligação semântica e a correlação dos dados desenvolvem um diagnóstico mais apurado permitindo que as tomadas de decisão sejam mais rápidas e efetivas. A Capacidade Preditiva (*Predictive Capacity*) é a penúltima etapa da avaliação que visa prever possíveis falhas e apontar soluções plausíveis a realidade da empresa de forma clara permitindo que a sua interpretação se propague em diferentes áreas da corporação. Assim, é possível projetar diferentes cenários para o futuro avaliando a probabilidade de eles ocorrerem de fato. Por fim, o último estágio é a Adaptabilidade (*Adaptability*) que permite que as companhias deleguem certas decisões aos sistemas de TI para que possam adaptar o ambiente de negócios com mudanças disruptivas que podem acontecer em qualquer momento. O grau da adaptabilidade depende da complexidade das decisões e da relação custo benefício.

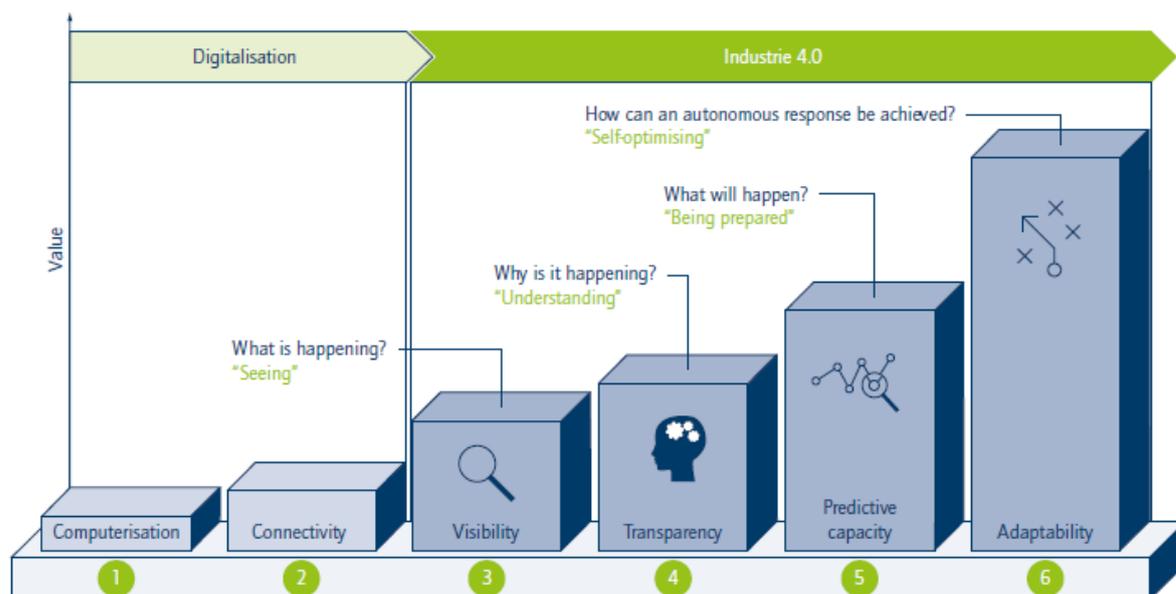


Figura 09 – Estágios para o caminho do desenvolvimento da Indústria 4.0.

FONTE: Schuh et al. (2017).

O índice de maturidade da Acatech voltado a Indústria 4.0 divide a estrutura da empresa em quatro pilares: Recursos, Informações, Sistemas e Cultura e Estrutura Organizacional (Figura 10).

Recursos referem-se a algo tangível e físico. Inclui os colaboradores da empresa, máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e o produto final. A força de trabalho deve possuir certas competências para aproveitar ao máximo os dados capturados. Recursos técnicos complementares, corretamente configurados, podem ajudar a reduzir os dados e a latência da ação. Além de cumprir uma função específica, as organizações devem garantir que seus recursos tenham uma interface entre o mundo físico e o digital. Isso gera um ponto de vista sobre o mundo virtual que facilita o processo de aprendizado necessário para que se aumente a produtividade.

Os sistemas de informação são sistemas sócio técnicos em que a informação é fornecida com base em critérios econômicos vindos de pessoas ligadas a TI e comunicação. A configuração dos sistemas de informação é fundamental para garantir que os dados sejam utilizados para tomar decisões. Com a digitalização fica mais fácil mensurar as variáveis mais significativas dos processos permitindo que se tenha um controle mais eficiente e uma agilidade para a execução de determinadas tarefas.

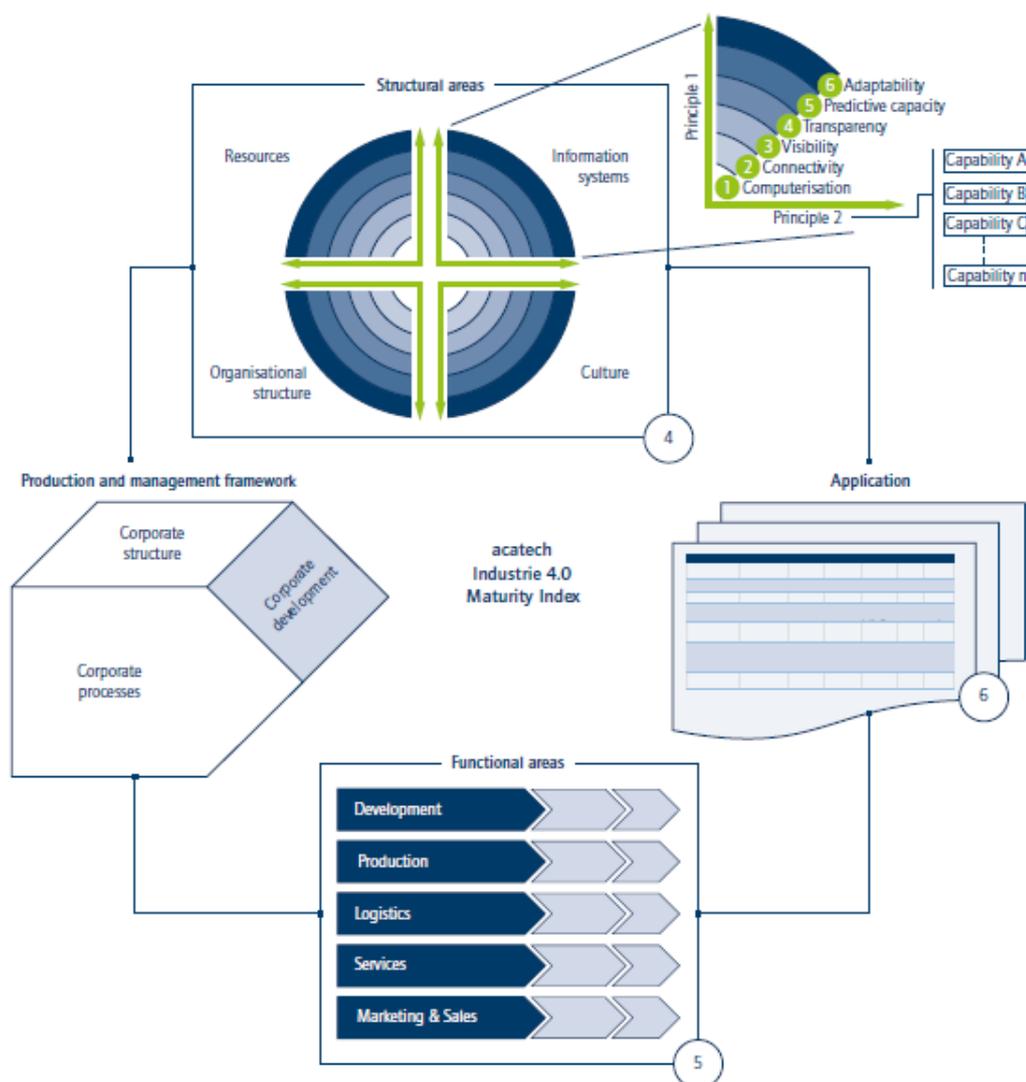


Figura 10 – Modelo de avaliação do índice de maturidade da Acatech.

FONTE: Schuh et al. (2017).

Embora o uso correto dos recursos e sistemas de informação proporcionem que a companhia se encaminhe a Indústria 4.0, é preciso que a implementação da estrutura organizacional seja assertiva. Para a Acatech, a organização estrutural refere-se tanto a organização interna (estruturas e processos operacionais) quanto a sua posição na cadeia de valor. Ela estabelece regras obrigatórias que organizem a colaboração dentro e fora da corporação.

A Cultura é o último pilar que o *framework* apresenta. A agilidade de uma empresa é altamente dependente do comportamento de seus funcionários. Segundo Schuh et al. (2017), a gestão *lean* da década de 1990 e início dos anos 2000 mostrou que a chave para uma adoção de uma metodologia bem-sucedida é a administração de aspectos que interferem diretamente na cultura. O mesmo se

aplica para a Quarta Revolução Industrial. Haverá dificuldades relevantes se as tecnologias forem introduzidas sem uma abordagem cultural corporativa. Dessa forma, se torna essencial a capacitação dos profissionais em paralelo a implantação dos elementos técnicos que trarão os benefícios esperados para as empresas. Sendo assim, as pessoas tendem a contribuir para melhorar a sua eficiência gerando os lucros esperados pelas áreas de negócios. Por fim, se ganha aumento de confiança quando se observa que a evolução tecnológica não veio para retirar postos de trabalhos e sim para aprimorar a qualidade e permitir ao trabalhador um esforço menos repetitivo, seja ele físico ou mental.

### 2.3 INTEROPERABILIDADE

A interoperabilidade apresenta várias definições na literatura. Para Chen et al. (2007), a interoperabilidade é a capacidade de interação e aplicação entre softwares, seja ele sistemas legados (ambiente corporativo) ou tradicionais (comum a todos os usuários). European Communities (2004) define o conceito como a capacidade de informação e comunicação de um sistema de tecnologia (ICT) e dos processos de negócios que suportam troca de dados e permitem a partilha de informação e conhecimento. Legner e Lebreton (2007) destacam que a interoperabilidade detém a capacidade organizacional e operacional de uma empresa em cooperar com seus parceiros de negócios e estabelecer formas eficientes de realizar e desenvolver suporte de TI para os negócios com o objetivo de criar valor. Weisman (2011) afirma que interoperabilidade pode ser descrita como (i) capacidade de compartilhar informações e serviços; (ii) capacidade de dois ou mais sistemas ou componentes em trocar e usar informações; e (iii) capacidade dos sistemas em fornecer e receber serviços de outros sistemas e de usar os serviços de modo trocado permitindo operar eficazmente em conjunto. Segundo a ISO (2010), a norma técnica ISO/IEC 19763-3:2010 conceitua interoperabilidade como sendo a capacidade de organizações e entidades de interagir de forma eficaz a sua comunicação dentro dessas empresas.

A interoperabilidade permite que diferentes sistemas se comuniquem, executem instruções, compartilhem dados e façam a interação entre os requisitos essenciais dentro da rede organizacional (Moen, 2001). A literatura aponta diversos trabalhos de pesquisa voltados a interoperabilidade que relacionam modelagem e

análise de sistemas complexos. Em Hammadi (2012), a interoperabilidade foi utilizada para análise de sistemas mecatrônicos e multi-físicos. Os sistemas de fabricação reconfiguráveis podem ser considerados como sistemas mecatrônicos integrando sinergicamente os dados de mecânica, eletrônica, automação e software (Hammadi et al., 2016). Ambos os sistemas requerem indicadores multicritérios para sua análise (Choley et al., 2012).

A interoperabilidade é fundamental para Indústria 4.0 porque a integração de sistemas com máquinas e redes inteligentes será necessária em todos os setores da organização. Ela possui objetivos diferentes quando adotada no conceito alemão de manufatura avançada (I4.0) e no conceito americano seguido pela Industrial Internet Consortium (IIC) (IIC, 2017). A IIC tem forte preocupação em conectar diferentes tipos de dispositivos a internet que permitam o fornecimento de qualquer tipo de informação, oriundas de diferentes processos, com o objetivo de se obter uma avaliação aprimorada aumentando a eficiência em tomadas de decisão. No caso da Indústria 4.0, o seu escopo está mais concentrado em manufatura e cadeia de suprimentos. Com relação a sistemas interoperáveis, a I4.0 trabalha diretamente com padrões já existentes, e a IIC tem como objetivo definir e desenvolver a arquitetura de referência e estruturas necessárias para a interoperabilidade resultando em padronizações mais flexíveis (Lu et al., 2016). Para Carlsson et al. (2016), destacam-se algumas iniciativas sobre sincronização específica que estão contribuindo para a inserção da transformação digital nas organizações no chão de fábrica com a colaboração entre protocolos Automation ML (IEC 62714) e OPC-UA (IEC 62541) (Stojanovic, 2017) e também entre ISO 15926 e Mimoso.

Segundo Chen e Daclin (2010), a interoperabilidade é composta por três aspectos: Concerns (parte da empresa envolvida na interoperação), Barreiras (obstáculos que dificultam a inserção da interoperabilidade) e Approaches (soluções para remover as barreiras existentes). Esta pesquisa trabalha com o estudo das barreiras de interoperabilidade para Indústria 4.0 tomando como base o framework desenvolvimento por Chen e Daclin (2010) denominado FEI (*Framework for Enterprise Interoperability*).

No FEI existem três tipos de barreiras de interoperabilidade. A barreira mais importante é a conceitual por causa das diferentes maneiras de representar e comunicar conceitos. As barreiras tecnológica e organizacional são classificadas como adicionais, porém tem um grau de importante muito grande quando

relacionadas com Indústria 4.0. A barreira tecnológica caracteriza-se por usar tecnologias computacionais para se comunicar e trocar informações e dados de equipamentos e sistemas. A barreira organizacional é relativa aos métodos de trabalho, formas de assumir responsabilidades e também critérios de segurança. Dispositivos relacionados a Internet das Coisas (IoT) requerem alto nível de segurança, principalmente informações que precisam ser preservadas e que podem ser alvos de ataques (Sadeghi et al., 2015).

As barreiras conceituais podem ser classificadas em três tipos: Sintática, Esquemática e Semântica. A barreira conceitual sintática caracteriza-se por dois sistemas apresentarem o mesmo conteúdo em diferentes formatos que precisam ser unificados (Missikoff e Taglino, 2004). As barreiras esquemáticas incluem diferentes estruturas, modelos de negócios e visão estratégica. Por fim, a barreira conceitual semântica inclui mesmas entidades com diferentes nomes que podem ser mapeadas usando ontologias. As barreiras semânticas estão muito presentes na I4.0 porque muitos conceitos que são ditos como novos já existem, porém com outra descrição e nomes distintos. A Tabela 05 mostra exemplos das duas dimensões básicas (barreiras e *concerns*) que compõem o FEI.

FEI (Framework Enterprise Interoperability)			
Concern	Barriers		
	Conceptual	Technological	Organizational
Business	Visions, Strategies, Cultures, Value and Business Model	IT Infrastructure	Methods of Work Legislations Organization Structures
Process	Syntax and Semantics of Processes	Process Enactment of Engine	Procedures of Work Operation Modes Processes Organization
Service	Semantics to name and describe Services	Interface, Architecture	Responsibility/Authority to manage Services
Data	Data Representation Format and Semantics Data Restriction Rule	Data Encoding and Exchange Formats	Responsibility/Authority to add/delete, change/update Data

Tabela 05 – *Framework for Enterprise Interoperability* (duas dimensões básicas).

FONTE: Chen e Daclin (2010) (Adaptado).

As barreiras manifestam-se através dos concerns que podem ser do tipo *Business*, *Process*, *Service* e *Data*. *Business* está relacionado com a capacidade de conectar relações de negócios internamente ou externamente entre empresas. Exemplos de *Business* são: diferentes visões, estratégias, valores, modelos de negócio e de tomada de decisão. *Process* é quando se tem vários processos trabalhando em conjunto e precisam estar interoperáveis. *Service* preocupa-se com

a identificação, composição e fazendo com que várias aplicações funcionem em conjunto, concebidas e implementadas independentemente. O objetivo da interoperabilidade de *Data* é encontrar e compartilhar informações vindas de bases heterogêneas que residem em diferentes máquinas com diferentes sistemas operacionais.

Para formar as três dimensões que representam o FEI, é necessário envolver o eixo de *Approaches*. Ele representa as diferentes maneiras com que as barreiras de interoperabilidade podem ser removidas. É constituída por Integração (*Integrated*), Unificação (*Unified*) e Federado (*Federated*). Desenvolver a interoperabilidade através de soluções integradas significa dizer que os modelos existentes apresentam um formato em comum. Este formato precisa ser tão detalhado quanto o modelo para que se garanta a construção de sistemas de forma correta. Uma abordagem unificada significa que existe um formato em comum, porém em um meta-nível. Este formato não é uma entidade executável, e sim, um caso de solução integrada. Dessa forma, propõe-se que haja uma equivalência semântica que permita o mapeamento de modelos e aplicações. Por fim, quando se tem um *approach* do tipo federado, sugere-se que não há um formato estabelecido. Isso implica dizer que nenhum parceiro impõe seus modelos, linguagem e métodos e de trabalho. Sendo assim, é necessário que se desenvolva uma ontologia que correlacione ambos (Chen e Daclin, 2010).

A representação do FEI, com as três dimensões mencionadas, se encontra na Figura 11.

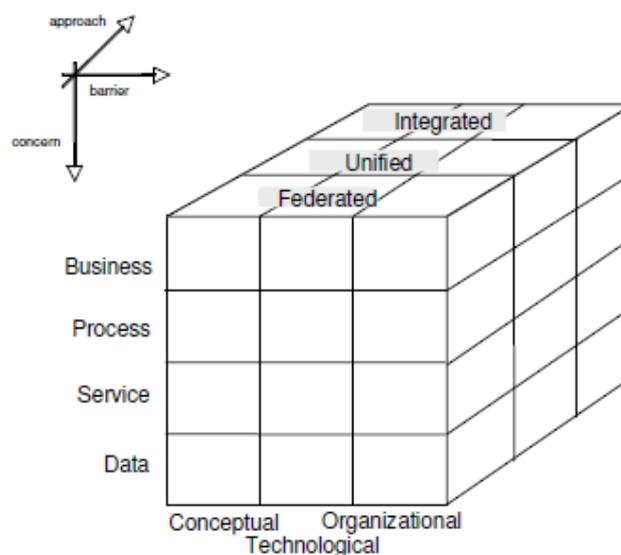


Figura 11 – Framework for Enterprise Interoperability.

FONTE: Chen e Daclin (2010).

## 2.4 MÉTODOS MULTI-CRITÉRIOS DE TOMADA DE DECISÃO (MCDM/A)

Com a proliferação contínua dos *Multicriteria Decision Making/Analysis methods* (MCDM/A) e suas variantes, é importante compreender a relação existente entre critérios e alternativas (Triantaphyllou, 2000). Os métodos MCDM/A proporcionam análises de tomadas de decisão de múltiplos critérios que avaliam explicitamente critérios conflitantes de ambiente organizacionais. Os métodos eleitos para estabelecimento de um modelo de avaliação, o AHP e Promethee, caracterizam técnicas numéricas para auxiliar em tomadas de decisão na escolha de um conjunto discreto de alternativas pré-estabelecidas. O método AHP permite dar uma visão preliminar sobre as prioridades caracterizantes do espaço de avaliação, estratificando as ponderações em diferentes níveis de análise. Sua característica estrutural permite considerar tais ponderações na decisão de posicionamento do nível de maturidade do domínio ou entidade avaliado. Isso só é possível baseado no peso que os critérios têm em relação as alternativas existentes. Através do método Promethee, que considera os pesos levantado pelo método AHP, permite-se a avaliação de preferência por uma solução (entidades industriais) que se encaixe melhor aos atributos ou critérios de enquadramento (requisitos da indústria 4.0 sob a ótica da interoperabilidade).

### 2.4.1 AHP (*Analytic Hierarchy Process*)

O conjunto de resultados ou alternativas potenciais é fundamental em processos de tomada de decisão. Ao se definir quais são os elementos necessários para se fazer a avaliação, é preciso classificá-los em agrupamentos ou *clusters* que tenham influências ou efeitos semelhantes. Demanda-se, também, organizá-los de forma racional para que seja possível rastrear os resultados de seu impacto frente aos critérios estabelecidos. Saaty (1990) define as etapas de um processo de tomada de decisão da seguinte forma:

- i) “Structure a problem as a hierarchy or as a system with dependent loops;
- ii) Elicit judgments that reflect idea, feelings or emotions;
- iii) Represent those judgments with meaningful numbers;
- iv) Use these numbers to calculate the priorities of the elements of the hierarchy;
- v) Synthesize these results to determine an overall outcome; e
- vi) Analyze the sensitivity to changes in judgment”.

O método que torna possível a aplicação desse procedimento é o AHP. O AHP é um método de resolução de problemas que abrange uma visão de consciência instantânea para uma visão de consciência totalmente integrada, organizando assim, percepções, sentimentos, julgamentos e memórias em uma hierarquia que influencia na tomada de decisão. O modelo se baseia na capacidade humana inata de se usar informações e experiências para estimar magnitudes (pesos) entre critérios e alternativas (Saaty, 1990).

Battirola et al. (2017) afirma que as principais vantagens do AHP frente a outros métodos multicritérios são a forma fácil de usá-lo e a habilidade de ajustar o nível de inconsistência. Saaty (1990) também propôs uma lista de vantagens em relação a estrutura processual do método:

- i) A representação hierárquica de um sistema pode ser usada para mostrar como a mudança de prioridade, entre os critérios em avaliação, de um nível superior influencia diretamente em um nível inferior;
- ii) Permite que todos os envolvidos compreendam um processo de tomada de decisão e o problema que está sendo analisado;
- iii) O desenvolvimento de um sistema hierárquico natural é mais eficiente do que um construído genericamente;

- iv) As hierarquias são estáveis devido as pequenas mudanças acarretarem em pequenos efeitos em uma estrutura hierárquica bem constituída não gerando perda de desempenho no resultado final.

Por outro lado, Schmidt (1995) aponta algumas desvantagens e limitações ao se usar o método AHP:

- i) Para compor as respostas (*pairwise*), entre os critérios obtidos, é necessário utilizar um procedimento estrutural em formato de *Survey* para que o avaliador tenha ciência do que está qualificando;
- ii) O número excessivo de alternativas gera um aumento considerável de comparações dificultando a análise de especialistas e causando uma perda de *performance* operacional do software;
- iii) Em cada nível, o critério utilizado deve ser independente ou pelo menos distinto dos demais.

A estrutura clássica de um modelo AHP é apresentada na Figura 12. O primeiro nível refere-se ao objetivo principal da avaliação. O segundo nível são os critérios relativos que podem variar de tamanho de acordo com a dimensão proposta do problema. A hierarquia dos critérios pode se estender da forma que se achar necessária, criando-se vários subníveis. Por fim, o terceiro nível é relacionado as alternativas do estudo em questão. Elas também podem variar de acordo com a necessidade. Todos os critérios precisam estar associados com todas as alternativas existentes.

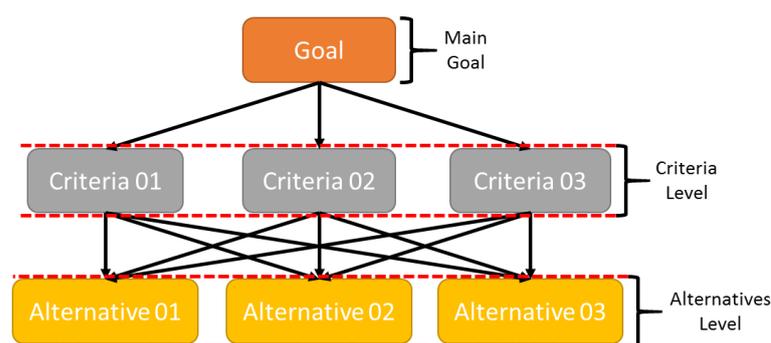


Figura 12 – Estrutura usual do AHP.

FONTE: O AUTOR.

Após construir o problema que se deseja avaliar na estrutura padrão do método AHP, a próxima etapa é a comparação entre os pares de elementos nos níveis de critérios e alternativas para se definir a importância relativa entre um e outro elemento de cada nível. O *pairwise* fornece uma análise analítica para

combinar e consolidar a avaliação das alternativas e reduzir a complexidade das escolhas a serem adotadas. Sendo assim, os próximos passos são: (i) Construção da matriz de comparação; (ii) Normalização e cálculo dos pesos e (iii) Análise de consistências; e (iv) Construção (Cestari et al., 2018).

Para se construir a matriz de comparação, leva-se em conta a condição de ela ser sempre quadrada. Dessa forma, a representação de  $A = [a_{ij}]_{n \times n}$  é feita formato de matriz quadrada.

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{2n} \\ A_{n1} & A_{n2} & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Na Equação 01 percebe-se que o triângulo inferior da matriz é o inverso do triângulo superior.

$$comp = \frac{n(n-1)}{2}, \quad (2)$$

onde  $n$  é o número de colunas ou linhas da matriz

Uma tabela comparativa com valores variando de 1 a 9, que é denominada de escala numérica fundamental absoluta, é mostrada na Tabela 06.

Intensity of Importance	Definition	Description
1	Equal Importance	Two activities contribute equally to the objective
2	Weak	When compromise is needed
3	Moderate Importance	Experience and judgment slightly favor one activity over another
4	Moderate Plus	When compromise is needed
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one activity over another
6	Strong Plus	When compromise is needed
7	Very Strong or demonstrated Importance	An activity is strongly favored and its dominance demonstrated in practice
8	Very, Very Strong	When compromise is needed
9	Extreme Importance	The evidence favoring once activity over another is of the highest possible order of affirmation

Tabela 06 – Escala utilizada no AHP.

FONTE: Saaty (1990) (Adaptado).

Para se realizar a normalização da matriz é necessário fazer a divisão de cada elemento que a compõe pela soma dos mesmos de cada coluna.

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \text{ onde } j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

Os cálculos do auto vetor ou da matriz ponderada relativa são usados para fornecer os pesos de cada elemento.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n}, \text{ onde } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

Considerando que o auto vetor representa os valores relativos de cada elemento  $a_{ij}$  contra todos eles, a soma de todos os auto vetores precisa ser igual a 1.

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (5)$$

O próximo passo é fazer o cálculo de consistência da informação coletada através de especialistas entrevistados. De acordo com Saaty (1990), para se considerar uma matriz consistente, a razão de consistência ( $CR$ ) precisa ser menor do que 10%. Para se calcular a taxa de consistência, primeiramente, é necessário calcular o valor da soma dos pesos ( $W$ ) através da multiplicação da matriz comparativa ( $A$ ) e seu respectivo auto vetor  $W_i$ .

$$W = A * W_i \quad (6)$$

Após a conclusão desta operação, é necessário calcular o auto vetor da matriz obtida  $\lambda_{max}$ . O  $\lambda_{max}$  é a aritmética resultante da divisão entre a soma dos valores relativos ( $W$ ) e o auto vetor  $W_i$ .

$$\lambda_{max} = \frac{W/W_i}{n} \quad (7)$$

A próxima etapa é calcular o índice de consistência ( $CI$ ).

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (8)$$

Por fim, o último estágio é o cálculo da razão de consistência ( $CR$ ), baseando-se no padrão criado por Saaty chamado *Random Index (RI)* (Tabela 07). A Equação 09 apresenta esta formula.

$$CR = \frac{CI}{RI} * 100\% \quad (9)$$

N	2	3	4	5	6	7	8	9	...
RI	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	...

Tabela 07 – Random Index RI.

FONTE: Saaty (1990) (Adaptado).

### 2.4.2 PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*)

O Promethee (Método de organização de preferências para a avaliação de enriquecimento) é um processo de tomada de decisão desenvolvido por Brans et al. (1986). É um método de classificação adaptado a problemas onde um número finito de alternativas deve ser ranqueado de acordo com os critérios. A tabela de avaliação do Promethee permite que as alternativas sejam avaliadas por diferentes critérios. A modelagem do problema de avaliação no Promethee requer dois tipos de informações: (i) Informações sobre a relevância relativa (pesos) dos critérios considerados e; (ii) Informações relacionadas a função de preferência utilizada para otimizar a comparação entre critérios e alternativas (Dagdeviren, 2008). Existem seis funções de preferência no Promethee: *Usual*, *U-Shape*, *V-Shape*, *Level*, *V-Shape with Indifference* e *Gaussian*, conforme mostra a Tabela 08.

Na função do Tipo 01 (*Usual Criterion*) há preferência estrita pela alternativa com melhor desempenho. Dessa forma, para qualquer diferença positiva na avaliação das duas alternativas ( $a > b$ ), esta função assume o valor 1. Nos casos em que não há diferença ( $a = b$ ), a função assumirá o valor 0. Na função do Tipo 02 (*U-Shape Criterion*) a preferência estrita pela alternativa  $a$  ocorre somente quando a diferença na avaliação das alternativas excede o limiar de indiferença  $q$ . Nos outros casos ocorre a indiferença. Na função do Tipo 03 (*V-Shape Criterion*), o  $p$  é o limiar de preferência estrita. Quando a diferença entre as alternativas é superior a este limiar, há preferência pela alternativa  $a$ . Quando a diferença é menor que  $p$ , a preferência aumenta de forma linear em razão da diferença entre as alternativas. A função *Level Criterion* exige um limiar de indiferença  $q$  e uma preferência por  $p$  definidos pelo avaliador. Se  $d(a, b)$  é menor que  $q$  há indiferença da alternativa  $a$  em relação a  $b$ . Caso  $d(a, b)$  esteja entre  $q$  e  $p$  há uma preferência fraca em favor de alternativa  $a$ , e quando  $d(a, b)$  é maior que  $p$  ocorre a preferência estrita em favor de  $a$ . Similar a função *Level Criterion*, a função do Tipo 05 (*V-Shape with Indifference*) a preferência aumenta linearmente da indiferença  $q$ , para preferência estrita, limiar  $p$ . Por fim, na função *Gaussian Criterion* é necessário definir o parâmetro  $s$ , cujo valor será responsável pela mudança na concavidade da curva de preferência. Ela é aplicada em critérios quando há a necessidade de incrementar (ou reduzir) a

preferência em razão de um afastamento do parâmetro  $s$ . Assim, a preferência aumenta ou diminui de forma assintótica conforme a  $d(a, b)$  é superior ou inferior a  $s$ .

Tipo de Função	Descrição	Representação Gráfica	Parâmetros
Tipo 01 ( <i>Usual Criterion</i> )	$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$		-
Tipo 02 ( <i>U-Shape Criterion</i> )	$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ 1, & d > q \end{cases}$		q
Tipo 03 ( <i>V-Shape Criterion</i> )	$(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ \frac{d}{p}, & 0 \leq d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$		p
Tipo 04 ( <i>Level Criterion</i> )	$(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{d}{p}, & q \leq d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$		q e p
Tipo 05 ( <i>V-Shape with Indifference</i> )	$(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q}, & q \leq d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$		q e p
Tipo 06 ( <i>Gaussian Criterion</i> )	$(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}}, & d > 0 \end{cases}$		s

Tabela 08 – Funções de preferência do Promethee.

FONTE: Brans et al. (1986) (Adaptado).

Dado as alternativas  $a$  e  $b \in A$ , onde  $A$  representa o conjunto de alternativas, a função de preferência  $P$  é:

$$P: A \times A \rightarrow (0,1) \quad (10)$$

Assim, é possível calcular o índice de preferência da alternativa  $a$  em relação a alternativa  $b$ , baseado em uma função de preferência  $P_i$  e peso  $w_i$  escolhidos pelo decisor para cada critério  $c_i$  ( $i = 1, \dots, k$ ).

$$\Pi_{(a,b)} = \sum_{i=1}^k P_i(a,b)w_i \quad (11)$$

Onde  $\Pi_{(a,b)}$  representa o grau de preferência de  $a$  sobre  $b$  para determinado critério, tal que:

- $\Pi_{(a,b)} = 0$ , representa indiferença ou não preferência de  $a$  sobre  $b$ ;
- $\Pi_{(a,b)} \sim 0$ , representa preferência fraca de  $a$  sobre  $b$ ;
- $\Pi_{(a,b)} \sim 1$ , representa preferência forte de  $a$  sobre  $b$ ;
- $\Pi_{(a,b)} = 1$ , representa preferência estrita de  $a$  sobre  $b$ ;

O fluxo positivo de preferência quantifica a maneira como uma alternativa é globalmente preferida a todas as outras. O fluxo negativo de preferência quantifica a maneira como uma alternativa é globalmente preferida por todas as outras. Dessa forma, a representação matemática é orientada como:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \Pi(a, x) \quad (12)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \Pi(x, a) \quad (13)$$

O Promethee I caracteriza-se por fornecer um pré-ranqueamento parcial entre as alternativas de um problema obtido através do fluxo positivo e negativo. O primeiro indica o quando uma alternativa domina a outra e o segundo indica o quando a alternativa é dominada. Sendo assim, segue a representação matemática conforme destacado:

$$\begin{cases} aP^+b \text{ se e somente se } \phi^+(a) > \phi^+(b), \\ aI^+b \text{ se e somente se } \phi^+(a) = \phi^+(b) \\ aP^-b \text{ se e somente se } \phi^-(a) > \phi^-(b), \\ aI^-b \text{ se e somente se } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Preference: } aPb \text{ ou } bPa \\ \text{Indifference: } aIb \\ \text{Incomparability: } aRb \end{array} \right.$$

A pré-ordem parcial ( $P_I, I_I$  e  $R$ ) é obtida através da interseção das pré ordens:

$$\left\{ \begin{array}{l} aP_I b \text{ (a sobreclassifica b) se } \begin{cases} aP^+ b \text{ e } aP^- b, \\ aP^+ b \text{ e } aI^- b, \\ aI^+ b \text{ e } aP^- b. \end{cases} \\ aI_I b \text{ (a sobreclassifica b) somente se } I^+ b \text{ e } aI^- b \\ aI_I b \text{ (a sobreclassifica b) somente se } I^+ b \text{ e } aI^- b \end{array} \right.$$

Para o Promethee II, aplica-se em problemas de ordenação, onde fornece uma pré ordem completa das alternativas. O fluxo líquido é obtido por:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (14)$$

Quanto maior o fluxo líquido melhor a alternativa, de modo que:

$$\left\{ \begin{array}{l} aP_{II} b \text{ (a sobreclassifica b) se e somente se } \phi(a) > \phi(b), \\ aI_{II} b \text{ (a é indiferente a b) se e somente se } \phi(a) = \phi(b). \end{array} \right.$$

As seguintes propriedades são válidas para o método:

$$\left\{ \begin{array}{l} -1 \leq \phi(a) \leq 1, \\ \sum_{x \in A} \phi(a) = 0. \end{array} \right. \quad (15)$$

Assim, se  $\phi(a) > 0$ , a alternativa supera as demais em todos os critérios, e se  $\phi(a) < 0$ , a alternativa é superada por todas do conjunto.

Existe, ainda, mais quatro tipos de extensões do Promethee. O Promethee III realiza a ordenação das alternativas potenciais através do tratamento probabilístico de fluxos (intervalos de referência). O Promethee IV apresenta uma pré-ordem completa ou parcial, sendo uma continuação do Promethee II que detém um número infinito de alternativas. O Promethee V é uma outra extensão do Promethee II que se aplica quando o decisor não é capaz de estabelecer valores fixos no peso dos critérios. Finalmente, o Promethee GAIA apresenta o resultado do Promethee através de um procedimento visual e de forma interativa, com a finalidade de observar a influência dos pesos de cada critério nas alternativas.

O método possui vantagens únicas quando elementos relevantes da tomada de decisão são difíceis de quantificar ou comparar ou quando há pouco conhecimento técnico e de perspectivas da equipe que fará a avaliação. Existe casos onde o Promethee pode ser aplicado: (i) Escolha, referindo-se a uma seleção de alternativa a partir de um determinado conjunto das mesmas onde se tem vários critérios para avaliar; (ii) Priorização, que determina o mérito relativo dos membros de um conjunto de alternativas, ao contrário da escolha que selecionava apenas uma opção e classificava-a; (iii) Alocação de Recursos feita em um determinado conjunto de alternativas; (iv) Ranking entre um conjunto de alternativas que vai da mais preferida para a menos requisitada e; (v) Resolução de Conflitos envolvendo a

resolução de problemas específicos com objetivos, aparentemente, incompatíveis. Além das aplicações já citadas, o Promethee pode ser usado para fazer previsões, seleção de talentos e análise de propostas.

## 2.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

A definição do termo Indústria 4.0 trouxe uma série de informações que compõem a conceito que serão utilizadas na sequência deste trabalho. Destaca-se a redução de tempo para tomadas de decisão, de custos envolvido na implementação de Projetos de Transformação Digital, na comunicação interna dentro das empresas, do monitoramento de variáveis críticas da organização, em tempo real, e os benefícios da interoperabilidade para a interface entre equipamentos, sistemas e novos dispositivos. A Quarta Revolução Industrial é uma realidade no Brasil e muitas corporações tem trabalhado fortemente para compreender como adaptar a sua companhia para a Era Digital. Uma metodologia que tem sido aplicada com resultados significativos é a Prova de Conceito (PoC). Elementos que compõem a I4.0, citados nas seções 2.1 e 2.2, fomentam a concepção das PoCs na indústria manufatureira que são introduzidas, em sua maioria, para a melhoria da performance do processo. Os *concerns* de interoperabilidade (*Business, Process, Service e Data*) contribuem para se desenvolver a arquitetura ideal de implantação de projetos digitais e mensurar as possíveis barreiras existentes com o foco de identifica-las e eliminá-las para que se evite atrasos constantes na execução das atividades que envolvam a implantação da Indústria 4.0.

Além dos critérios que determinam a I4.0 e interoperabilidade, os *frameworks* das consultorias internacionais fornecem uma série de atributos que podem ser adotados nas organizações brasileiras. Esses estudos se baseiam em empresas, situadas em países desenvolvidos, com nível de maturidade superior as brasileiras. Mesmo assim, determinados elementos podem ser aplicados no cenário nacional, sob uma avaliação mais criteriosa, que atenda os objetivos estratégicos de cada corporação. O *framework* proposto e detalhado no Capítulo 04, tem como meta incluir tais informações que contribuam para a introdução da Indústria 4.0 através da metodologia de Provas de Conceito.

Os dois métodos multicritérios de tomada de decisão AHP e Promethee auxiliarão na construção da Arquitetura Referencial, na Avaliação de Maturidade e

na obtenção da Arquitetura Funcional adaptada para a realidade da organização. As escolhas deles se devem pela praticidade de se construir o modelo em análise e a forma de apresentação dos resultados após o término da avaliação. O AHP dá uma visão preliminar e geral e comparativa do estado atual da entidade industrial. O Promethee permite dar uma visão mais específica sobre os atributos com escalas de avaliação específicas. E estes métodos, no relacionamento entre eles, suportam as dimensões diagnósticas e propositivas. Sendo assim, todo o estudo conceitual, levantando no Capítulo 02, tem impacto considerável no desenvolvimento do *framework* apresentado no Capítulo 04. Dessa forma, espera-se que a eficiência do método seja assertiva e contribua no processo evolutivo para a transição da Terceira para a Quarta Revolução Industrial na indústria brasileira.

### 3 PROVAS DE CONCEITO APLICADAS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

A contribuição de uma visão real do cenário automotivo brasileiro para introduzir conceitos da Indústria 4.0 foi de fundamental importância para a construção do *framework* RDPM I4.0. Tem sido comum no Brasil o uso de PoCs, sob um aspecto mais experimental, para testar e comprovar os ganhos que se pode obter com o uso de tecnologias específicas em áreas com potencial de implantação da I4.0. Esta seção tem como foco apresentar os insucessos decorrentes de alguma Prova de Conceito adotadas numa indústria automotiva brasileira para que se tenha uma base histórica que corrobore com a construção do *framework* proposto. Devido à ausência de artigos acadêmicos que tratem de uma forma mais explícita esta temática, torna-se essencial utilizar todo o conhecimento adquirido, em um ano de pesquisa dentro da organização, para que se possa listar onde estão mais concentradas as dificuldades de execução dos experimentos e, assim, fornecer uma solução que condiz com a realidade e que traga os benefícios esperados. A Seção 3.1 descreverá como é o processo de implementação da Prova de Conceito na empresa onde as análises foram feitas. As Seções 3.2, 3.3 e 3.4 abordarão as PoCs voltadas as temáticas de Manutenção Preditiva, Realidade Aumentada e Virtual (case denominado Especialista Remoto) e Computação Cognitiva, respectivamente. A Seção 3.5 dará destaque a um projeto digital em uma Fundação de Alumínio que teve muitas dificuldades de implementação e acabou sendo cancelado. Por fim, a Seção 3.6 encerra o capítulo propondo uma discussão sobre os temas relatados.

#### 3.1 PROVA DE CONCEITO – DESCRIÇÃO DO PROCESSO

As Provas de Conceito executadas na indústria automotiva analisada seguem o modelo apresentado na Figura 13. O processo de implementação de uma PoC pode ser alterado conforme necessário. São cinco etapas estabelecidas para que todas as áreas interessadas possam acompanhar todo o fluxo processual: **Fase Ideation** (Formulação da Ideia), **Reunião de Kick-Off** (Apresentação da Ideia ao Comitê de Direção da Área), **Fase On-Going** (Planejamento do *Business Case*, Caderno de Encargos e Seleção de Fornecedores), **Fase Delivered** (Relação dos Custos, Relação dos Ganhos Gerados, Modelo de Implementação) e, por fim, **Fase**

**Applied** (Testes Funcionais com o Cliente, Apresentação de Resultados e Comparação do Retorno do Investimento (RoI) planejado com o real). Todas as fases têm seu nível de importância, no entanto, a Fase de Ideação tem se apresentado como a mais significativa. A maioria dos profissionais que tem trabalhado com PoCs procura uma solução de mercado e tenta implementá-la na empresa com a finalidade de provar o conceito pré-estabelecido.

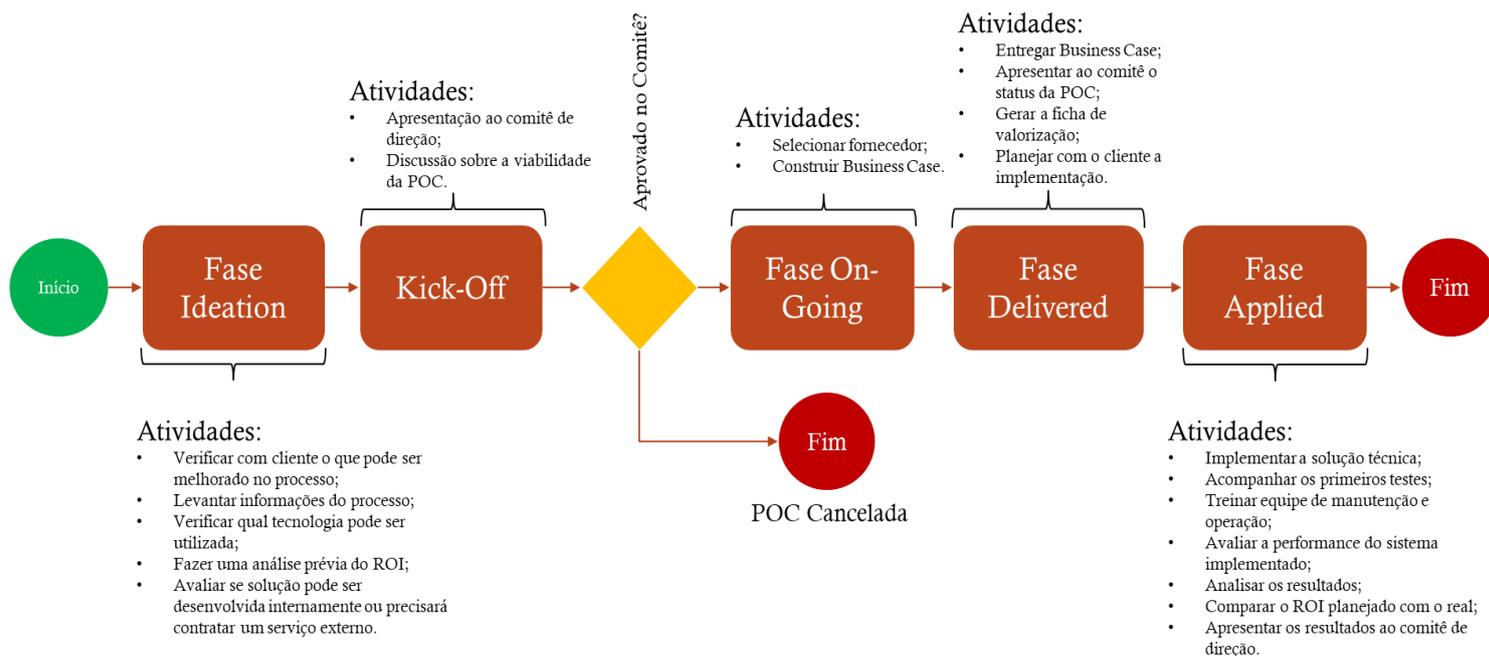


Figura 13 – Processo de execução de uma Prova de Conceito (PoC).

FONTE: O AUTOR.

A **Fase de Ideation** tem como objetivo levantar os principais requisitos que compõem o conceito de I4.0 que se deseja implementar. Para isso é fundamental contatar as áreas onde se vislumbra uma demanda pontual e envolver as pessoas que podem contribuir com informações de especificação e compreensão do case. Além disso, ela poderá fornecer uma avaliação prévia dos possíveis ganhos a serem obtidos para que seja comprovada a viabilidade da proposta. Com base na aquisição desses dados, passa-se a buscar uma solução que atenda os critérios mais significativos. No entanto, as tecnologias existentes e disponíveis do mercado dependem de uma série de elementos para que a sua implementação seja bem-sucedida. Fatos esses que não são comentados pelo fornecedor, durante a venda do produto, e não são mensurados pelo piloto da Prova de Conceito gerando barreiras sob um aspecto mais técnico impactando em todo o planejamento de execução. Dessa forma percebe-se uma real necessidade de se criar um método

que possibilite que qualquer piloto possa ter garantias que sua PoC será aplicada conforme planejado previamente. A maioria dos colaboradores das organizações tem pouco ou até mesmo nenhum conhecimento da tecnologia que poderá auxiliar na resolução da demanda existente. Tampouco um estudo aprofundado das barreiras de onde se pretende aplicar o conceito deixando passar questões técnicas com forte impacto nos riscos de execução da PoC. Sendo assim, é comum haver a extensão do prazo de conclusão da PoC para até seis meses ou, em certos casos, até um ano. Tal fato, gera uma perda de interesse por quem está gerenciando e por quem está no aguardo dos resultados dos testes de validação do conceito.

A **Fase de Kick-Off** é voltada a apresentação da ideia ao comitê de direção da empresa. Ela poderá ser aprovada ou rejeitada de acordo com a solidez dos elementos demonstrados. Normalmente, os membros envolvidos têm pouco ou nenhum conhecimento técnico da área e se prendem apenas a questões relacionadas ao Retorno do Investimento e ao tempo de execução. Raramente, o cliente é convidado a participar desta reunião o que poderia acrescentar na discussão da viabilidade da aplicação do conceito na área especificada. Por fim, a aprovação ou não da PoC é feita de forma subjetiva e em nenhum momento se avalia os possíveis riscos e as reais necessidades para implementação.

A **Fase de On-Going** está mais relacionada a construção do caderno de encargos e a seleção do fornecedor. O primeiro leva em conta todos os dados já obtidos na **Fase de Ideation** onde apenas se formaliza em um documento descritivo as funcionalidades necessárias, áreas envolvidas, detalhamento da tecnologia e cronograma. O segundo é um dos mais críticos de todo o processo. A qualificação para a escolha de um bom fornecedor que atenda toda a proposta estabelecida é complexa. Algumas soluções estão concentradas no universo das *startups* que dispõem de produtos com um foco bem específico. No entanto, a contratação das mesmas é feita com enormes dificuldades porque o processo de compras da organização requer uma série de critérios (e.g. balanço financeiro dos últimos três anos) que elas não possuem. Dessa forma cria-se um gargalo em todo o procedimento sendo necessário solicitar a elas que façam a PoC para fins de demonstração sem custos incluídos.

A **Fase de Delivered** consiste na entrega do caderno de encargos, da ficha de valorização (com os ganhos embutidos), do cronograma de implementação da Prova de Conceito aprovado pelo cliente e do fornecedor que irá oferecer seu

produto e serviços. A apresentação será feita em um comitê que, na maioria nas vezes, não é o mesmo que aprovou a ideia na **Fase de Kick-Off**. Dessa forma, é comum ocorrer divergências de opiniões entre os gestores que jogam se a PoC é realmente interessante ou não para a determinada área de negócios.

Por fim, tem-se a **Fase de Applied** onde será feita toda a execução do planejamento descrito e apresentado nas fases anteriores. A aplicação do conceito comprova se o detalhamento e estudo da ideia que se deseja implementar foi bem-feita. Como não há uma análise metodológica aprimorada sobre as limitações do ambiente onde será implementada a PoC, inicia-se uma série de problemas de integração com equipamentos, conectividade com rede, adaptação ao processo produtivo existente e flexibilidade da tecnologia que se deseja introduzir. Em certos casos, ocorreram fatos que constataram que o fornecedor não possui *know-how* para desenvolver a solução. Diante disso, confirma-se o atraso para a finalização da Prova de Conceito e a perda de confiança, por parte do cliente, do produto que será entregue.

Uma Prova de Conceito bem-sucedida permite que se desenvolva um projeto digital no futuro de forma mais eficaz. Para tal, é necessária uma abordagem mais sólida para que seja feito o levantamento de informações pontuais para definição da proposta. Dessa forma, o uso de uma metodologia que mensure os requisitos funcionais, as tecnologias aplicáveis e uma avaliação do potencial da empresa para implementação de conceitos da I4.0, sob uma ótica voltada a interoperabilidade, torna-se essencial para possibilitar que a PoC seja efetiva.

### 3.2 PROVA DE CONCEITO - MANUTENÇÃO PREDITIVA

A definição básica de manutenção preditiva é a possibilidade de conhecer a saúde dos equipamentos cruciais nas atividades de produção para se ter uma visão de quando os mesmos poderão falhar (Lee et al., 2013). Dessa forma, se torna mais fácil fazer uma parada programada de linha e efetuar a verificação pontual de determinadas máquinas que apresentem sinais de deterioração em peças específicas. Tal fato proporciona uma economia significativa de mão de obra, garante um produto final de maior qualidade, fornece o monitoramento em tempo real através de interface *mobile* e permite com que tomadas de decisão sejam feitas com embasamento mais sólido.

A manutenção preditiva tem sido uma demanda prioritária da equipe responsável pela manutenção da fábrica. Há muitos dados coletados de *PLCs* (Programadores Lógico Programáveis) que não são utilizados de forma apropriada ou muitas vezes descartados por falta de pessoal capacitado para fazer a análise. Também existem outras informações que ainda não estão implementadas nas máquinas e que necessitam da instalação de sensores inteligentes para se realizar um diagnóstico mais preciso.

As informações apresentadas na Tabela 09 são o *case* de aplicação de uma PoC nas máquinas de usinagem (GROB 500) da fábrica de motores. O pedido da equipe de manutenção se deve aos constantes aumentos do custo de reparos e troca de peças do equipamento. Na condição atual, não se tem nenhum acompanhamento mais preciso da saúde da máquina, somente do processo que se está executando através de informações oriundas da IHM (Interface Homem Máquina).

A Tabela 09 contém as etapas do processo de uma Prova de Conceito com as atividades específicas e a análise feita durante a execução da mesma. Além disso, os possíveis riscos também foram mensurados com base nas informações coletadas.

A Tabela 10 apresenta todas as atividades da PoC que deveriam ter sido concluídas. No entanto, surgiram problemas que não se resolveram em curto prazo e, além disso, houve ausência de recursos humanos para poder dar sequência nas tarefas. Este último ponto é um dos mais comuns da empresa que afeta diretamente a conclusão das Provas de Conceito. Outro item considerável é em relação as questões envolvendo fornecedores para resolução dos *gaps* tecnológicos existentes. Há muita dificuldade de despertar o interesse deles para tratar de assuntos mais específicos que não tem muito apelo comercial. Dessa forma, não se consegue encontrar uma solução em curto espaço de tempo, como demanda o processo da Prova de Conceito, e acaba gerando uma expectativa muito abaixo da planejada para a área de negócios. A Tabela 10 avalia quais dos riscos levantados são os mais críticos e que deveriam ter uma atenção especial. Seria muito relevante se ter a relação de influência entre os requisitos funcionais da PoC em questão, alguns já destacados na Tabela 10, com os possíveis riscos que podem vir a ocorrer.

Fases	Atividades	Descrição	Riscos
Ideation	Verificar com cliente o que pode ser melhorado no processo	<p>Cliente reportou que não possui acompanhamento em tempo real do status de componentes críticos da máquina como servo motor e eletrofuso.</p> <p>Para eles seria fundamental monitorar a vibração do servo motor, a temperatura do eletrofuso e a corrente elétrica. Na visão dele, o levantamento destas informações daria um diagnóstico preciso para fazer a manutenção da máquina.</p>	<p>Clareza sobre os dados que precisam ser monitorados.</p> <p>Documentação do processo não está bem assertiva.</p>
	Levantar informações do processo	<p>Existem 90 máquinas GROB na linha de usinagem da fábrica de motores. Número irá aumentar em 2018 com a expansão da fábrica.</p> <p>A arquitetura funcional das GROBs é toda Siemens (Hardware e Software).</p>	<p>Modelo antigo da máquina pode dificultar a implementação de novas tecnologias;</p> <p>Falta de interface entre Sinumerik e Siemens preocupante.</p>
	Verificar qual tecnologia pode ser utilizada	<p>Usar um gateway (Siemens ou outros) que permitam retirar as informações do PLC e do Sinumerik e enviar para uma plataforma na Nuvem.</p> <p>Análise dos dados, após um período de um mês, será feita por analistas da equipe de BI, que farão a correlação dos dados coletados criando assim um diagnóstico propositivo.</p> <p>Software de visualização do diagnóstico com os valores em tempo real será feito no Tableau.</p>	<p>Avaliação de como será feita o Dashboard com os dados coletados.</p> <p>Interface com Nuvem do fornecedor preocupante. Requisitos de segurança precisam ser avaliados.</p> <p>Transmissão de informações via 3G/4G em local fechado.</p>
	Fazer uma análise prévia do ROI	<p>Equipe de manutenção da fábrica de motores não possui informações específicas para se calcular, mesmo previamente, o ROI. Foi estimado um valor, mas sem uma base referencial sólida.</p>	<p>Não há elementos suficientes para se calcular o retorno do investimento.</p>
	Avaliar se solução pode ser desenvolvida internamente ou precisará contratar um serviço externo	<p>Questões técnicas envolvendo interface com PLC e Sinumerik Siemens só poderá ser resolvida pela própria Siemens.</p> <p>Instalação de gateway, suporte técnico e desenvolvimento do software será feito pela empresa contratada.</p>	<p>Não há garantias de que o fornecedor entregará a solução com a ausência de contrato.</p> <p>Equipe especializada por avaliar os resultados necessita ter know-how técnico.</p>
	On-Going	<p>Selecionar o fornecedor</p> <p>Construção do Business Case</p>	<p>O fornecedor escolhido para fazer as atividades citadas na seção anterior foi o Fornecedor 01. Eles apresentaram um case de sucesso similar a uma outra multinacional. Os testes iniciais serão feitos sem nenhum custo.</p> <p>Documentação iniciada, seguindo os padrões da França, com os dados relativos aos processos (variáveis de entrada, particularidades, estrutura de rede, modo de operação, etc).</p>

Tabela 09 – Descrição das atividades da PoC de Manutenção Preditiva.

FONTE: O AUTOR.

Fases	Atividades	Riscos	Criticidade		
			Alta	Média	Baixa
Ideation	Verificar com cliente o que pode ser melhorado no processo.	Clareza sobre os dados que precisam ser monitorados.	X		
		Documentação do processo não está bem assertiva.		X	
	Levantar informações do processo.	Modelo antigo da máquina pode dificultar a implementação de novas tecnologias.	X		
		Falta de interface entre Sinumerik e Siemens preocupante.	X		
	Verificar qual tecnologia pode ser utilizada.	Avaliação de como será feita o Dashboard com os dados coletados.			X
		Interface com Nuvem do fornecedor preocupante. Requisitos de segurança precisam ser avaliados.	X		
Fazer uma análise prévia do ROI.	Transmissão de informações via 3G/4G em local fechado.	X			
	Não há elementos suficientes para se calcular o retorno do investimento.	X			
	Avaliar se solução pode ser desenvolvida internamente ou precisará contratar um serviço externo.	Não há garantias de que o fornecedor entregará a solução com a ausência de contrato.			X
		Equipe especializada por avaliar os resultados necessita ter know-how técnico.			X
On-Going	Selecionar o fornecedor.	Comunicação entre fornecedores e empresa complexa.	X		
	Construção do Business Case.	Detalhamento de todo o processo precisa estar bem feito.			X

Tabela 10 – Riscos mensurados para a PoC de Manutenção Preditiva.

FONTE: O AUTOR.

Foram atribuídos três tipos de classificação de criticidade de riscos para os experimentos relatados: alto, médio e baixo. O primeiro inclui aspectos que são impeditivos para a continuidade da iniciativa sendo considerado de alto impacto. O segundo detém um tipo de risco que é mensurável e contornável podendo ser solucionado em um momento posterior a execução da PoC. Por fim, os riscos considerados mais baixos estão mais relacionados a uma extensão da proposta no futuro, sendo aconselhável relatar na fase de experimentação as possíveis barreiras que serão encontradas. Esse ranqueamento será dado para todas as PoCs relatadas no capítulo 03. Para o contexto da PoC de Manutenção Preditiva, os riscos que tiveram maior impacto estão diretamente relacionados a aspectos técnicos e de alocação de pessoas. No caso específico, as atividades foram paradas e não retomadas por um período de quatro meses. A solução proposta não teve continuidade. Optou-se por fazer uma outra PoC com uma tecnologia padronizada vinda da França, sem ao menos comprovar a eficiência ou não da iniciativa original. Este é um erro estratégico muito comum dentro da organização. Não se tem um valor real de quantos recursos são gastos em implementações que sequer saem do papel. Provavelmente, uma abordagem metodológica mais assertiva daria uma direção mais correta de como proceder para a implantação da Prova de Conceito.

### 3.3 PROVA DE CONCEITO – ESPECIALISTA REMOTO

A Prova de Conceito de Especialista Remoto ou Acesso Remoto é uma ideia que tem como objetivo auxiliar as equipes que dependem de suporte externo a fazerem-no utilizando tecnologia de realidade aumentada e virtual. O modo de operação é simples, o operador (usuário) está fazendo uma verificação de um equipamento e precisa de acompanhamento de um especialista que se encontra fora da empresa. Com os óculos de RV/RA ele consegue ligar para o *expert* e mostrar a ele a mesma imagem que está vendo. O especialista poderá congelar a imagem (*screenshot*), em tempo real, e fazer as devidas anotações para que o usuário possa compreender o que deve fazer. Toda essa interação é feita através de um aplicativo inserido no *hardware* dos óculos e em uma *Website* para que o *expert* possa se comunicar. O conceito se mostrou atraente e os ganhos são significativos. No entanto, se encontrou alguns *gaps* que culminaram no atraso da entrega da PoC. Essa iniciativa já tem mais de um ano e ainda não foi concluída. A Tabela 11 apresenta os principais motivos que contribuíram para o aumento considerável do *lead time*.

Fases	Atividades	Descrição	Riscos
Ideation	Verificar com cliente o que pode ser melhorado no processo	<p>Cliente gostaria de processo de manutenção de determinados equipamentos fosse mais ágil e de menor custo.</p> <p>Possibilidade de se aplicar em qualquer área.</p> <p><i>Lead time</i> do tempo de resposta precisa ser reduzido.</p> <p>Equipamento deve ter aprendido intuitivo.</p> <p>Relatórios devem ser gerados automaticamente após a conclusão das atividades.</p>	Possibilidade de uma única ferramenta não conseguir abranger todo o escopo.
	Levantar informações do processo	Para esta PoC ainda não foi definido um processo específico de atuação. No momento o esforço está concentrado na validação experimental da ferramenta.	A definição do processo é fundamental para a execução assertiva da prova de conceito.
	Verificar qual tecnologia pode ser utilizada	A tecnologia de realidade virtual é mais acessível nesta PoC.	Dependendo do ambiente de atuação, a tecnologia poderá não apresentar a performance esperada.
	Fazer uma análise prévia do ROI	Levantamento não foi iniciado.	Não há elementos suficientes para se calcular o retorno do investimento.
	Avaliar se solução pode ser desenvolvida internamente ou precisará contratar um serviço externo	Necessário fornecedor externo.	Solução requer um fornecedor com know-how elevado na área.
On-Going	Selecionar o fornecedor	Dois fornecedores foram selecionados: F01 (EUA) e F02 (Brasil). A F01, conceituada empresa na área, possui uma maturidade superior porque já possui um equipamento no mercado com as mesmas características técnicas para a POC. No entanto o seu custo é elevado;	Questões envolvendo custos de transporte e suporte não mensuradas;

	A F02 é uma startup de realidade aumentada e virtual, localizada em Curitiba, que já desenvolveu inúmeras atividades na área para a TI. Ela não possui maturidade suficiente para desenvolver uma solução, similar ao da F01, em um curto prazo.	Risco de equipamento ser barrado na Receita Federal;
Construção do Business Case	Documento já iniciado com algumas informações técnicas ainda pendentes.	Detalhamento de todo o processo precisa estar bem feito devido a criticidade.

Tabela 11 – Descrição das atividades da PoC de Especialista Remoto.

FONTE: O AUTOR.

A contratação de um fornecedor que atenda às necessidades de uma Prova de Conceito tem sido complexa. A qualificação e a garantia de que o trabalho será entregue da forma esperada já não são mais essenciais para a busca de uma empresa parceira. Existem outros critérios que precisam ser mensurados como custos, performance, comunicação e customização do produto. Além disso, o fornecedor precisa estar preparado para atender o modelo de PoCs porque as mesmas sofrem constantes alterações no escopo devido a indefinição por parte do cliente e as dificuldades técnicas de implementação das tecnologias por parte da empresa. A Tabela 12 apresenta o ranqueamento dos riscos presentes na execução do processo de acordo com seu nível de criticidade.

Fases	Atividades	Riscos	Criticidade		
			Alta	Média	Baixa
Ideation	Verificar com cliente o que pode ser melhorado no processo.	Possibilidade de uma única ferramenta não conseguir abranger todo o escopo.	X		
	Levantar informações do processo.	A definição do processo é fundamental para a execução assertiva da prova de conceito.	X		
	Verificar qual tecnologia pode ser utilizada.	Dependendo do ambiente de atuação, a tecnologia poderá não apresentar a performance esperada.	X		
	Fazer uma análise prévia do ROI.	Não há elementos suficientes para se calcular o retorno do investimento.	X		
	Avaliar se solução pode ser desenvolvida internamente ou precisará contratar um serviço externo.	Solução requer um fornecedor com know-how elevado na área.	X		
On-Going	Selecionar o fornecedor.	Questões envolvendo custos de transporte e suporte não mensuradas.		X	
		Risco de equipamento ser barrado na Receita Federal.	X		
	Construção do Business Case.	Detalhamento de todo o processo precisa estar bem feito devido a criticidade.	X		

Tabela 12 – Riscos mensurados para a PoC do Especialista Remoto.

FONTE: O AUTOR.

Dos riscos apresentados na Tabela 12, a maioria apresenta uma criticidade elevada. Isto não é por acaso visto que se está trabalhando com uma inovação tecnológica não muito usual nas companhias e requer um cuidado especial. O Fornecedor 01 disponibilizou três óculos para fazer os testes no Brasil. O mesmo chegou em um mês, porém por decisões burocráticas ficou parado na aduaneira da receita federal por três meses. O risco foi medido, no entanto, o procedimento de ação foi negligenciado e o atraso se comprovou em termos práticos. Esse é um dos agravantes quando se requisita uma solução de fora do país. As questões burocráticas precisam ser bem conhecidas para evitar problemas como os encontrados para esta PoC. Mesmo trazendo um recurso técnico avançado do exterior, ainda não é garantido que ele funcione como o esperado. Dessa forma, se comprova a real necessidade de uma avaliação mais criteriosa para evitar que acontecimentos similares a estes venham a ocorrer novamente.

#### 3.4 PROVA DE CONCEITO – COMPUTAÇÃO COGNITIVA

A computação cognitiva tem sido um dos recursos técnicos mais utilizados para se fazer acompanhamento de performance de processos, análise de imagens, avaliação de perfil comportamental de colaboradores e treinamentos de aprimoramento de capacitação profissional. Sendo assim, o seu uso cresce constantemente nas grandes organizações. Uma das iniciativas tratadas na empresa estudada foi a análise através de processamento de imagens de peças que apresentam defeitos difíceis de serem percebidos por seres humanos. O case em questão se encontra na Estamparia onde a produção de diversas peças da lataria do veículo são realizadas e necessitam de um controle rigoroso de qualidade, uma vez que pode acarretar em prejuízos imensos se o filtro não for bem feito. Hoje, a empresa possui um sistema de visão desenvolvido em parceria com um fornecedor especializado na área. Algumas falhas foram possíveis de serem verificadas, porém, outras ainda não são reconhecidas pelos algoritmos de processamento de imagem. O objetivo é utilizar as tecnologias mais conceituadas de computação cognitiva para que seja comparado a eficiência atual do sistema existente na Estamparia com uma Inteligência Artificial desenvolvida para este fim. Dessa forma, a Tabela 13 demonstra as atividades programadas para esta Prova de Conceito.

Fases	Atividades	Descrição	Riscos
Ideation	Verificar com cliente o que pode ser melhorado no processo	Conforme já mencionado anteriormente, há a necessidade de se fazer um controle de identificação de falhas (“rugos” e “picos”) das peças produzidas nas prensas da Estamparia de forma mais precisa.	API do Watson pode não ser tão precisa quanto a análise feita pelo sistema atual.
	Levantar informações do processo	Foi definido que os testes iniciais serão feitos com uma peça simples de superfície plana, por exemplo, um capô de um veículo.	Câmeras são de baixa precisão.
		Há dificuldade de programar a parada da linha para se fazer testes e coletar as imagens necessárias.	Coleta de informações depende de paradas de linha.
	Verificar qual tecnologia pode ser utilizada	Precisão das câmeras é preocupante. A qualidade das fotos para se identificar falhas específicas, e não muito aparentes, deve ser alta.	Recursos técnicos limitados para armazenamento de um volume alto de imagens.
	Fazer uma análise prévia do ROI	Conforme informado anteriormente, será utilizado a ferramenta IBM Watson com um dos seus APIs de processamento de imagem para fazer os testes.	Interface com outros sistemas para integração é preocupante.
On-Going	Avaliar se solução pode ser desenvolvida internamente ou precisará contratar um serviço externo	Não foi possível fazer uma análise prévia do retorno do investimento devido à falta de informações sobre o custo que as falhas de “rugos” e “picos” causam em todo o processo produtivo de um veículo.	Não há elementos suficientes para se calcular o retorno do investimento.
	Selecionar o fornecedor	Solução será desenvolvida internamente pelos recursos de computação cognitiva que trabalham na empresa.	Recursos não são funcionários e nem terceiros.
	Construção do Business Case	Para esta POC não foi necessário contratar um fornecedor. Nenhuma requisição para Compras foi feita.	Alta dependência de recursos dentro da empresa.
		Documentação do Business Case foi iniciada, no entanto, a impossibilidade de se agendar um horário para fazer teste na linha em conjunto com a troca e reconfiguração de alguns componentes do sistema de visão impactaram na entrega e aplicação da POC. Outro item que contribuiu para o atraso das atividades foi que todo esse processo tinha apenas um colaborador como responsável. Ele saiu de férias e todas as atividades, referentes a coleta de informações, ficaram paradas.	Indisponibilidade do cliente em determinados períodos de tempo. Dificuldade para acessar informações na linha de produção.

Tabela 13 – Descrição das Atividades da PoC de Computação Cognitiva.

FONTE: O AUTOR.

Tem sido recorrente os problemas envolvendo a falta e disponibilidade de recursos para pilotar a PoC até o final. De todas as abordagens apresentadas até aqui, nenhuma foi concluída. Os fatores externos dificultam todo o processo sendo cada vez mais evidente uma metodologia mais eficiente para que se possibilite a visão de todo o sistema. Dessa forma, será possível cumprir as atividades até o final em curto espaço de tempo. Esses riscos estão se tornando uma tendência para iniciativas voltadas ao chão de fábrica. Com isso, o real conceito da Indústria 4.0 não consegue se expandir no setor onde os ganhos serão visivelmente mais aparentes. A Tabela 14 apresenta os riscos e seu índice de criticidade. Percebe-se que os recursos humanos têm sido tão críticos quanto os recursos técnicos. É possível afirmar, preliminarmente, que a empresa, sob o ponto de vista estratégico, não está dando prioridade para a entrada na era digital.

Fases	Atividades	Riscos	Criticidade		
			Alta	Média	Baixa
Ideation	Verificar com cliente o que pode ser melhorado no processo	API do Watson pode não ser tão precisa quanto a análise feita pelo sistema atual		X	
	Levantar informações do processo	Câmeras são de baixa precisão	X		
		Coleta de informações depende de paradas de linha	X		
		Recursos técnicos limitados para armazenamento de um volume alto de imagens	X		
	Verificar qual tecnologia pode ser utilizada	Interface com outros sistemas para integração é preocupante	X		
	Fazer uma análise prévia do ROI	Não há elementos suficientes para se calcular o retorno do investimento		X	
	Avaliar se solução pode ser desenvolvida internamente ou precisará contratar um serviço externo	Recursos não são funcionários e nem terceiros	X		
On-Going	Selecionar o fornecedor	Alta dependência de recursos dentro da empresa	X		
	Construção do Business Case	Indisponibilidade do cliente em determinados períodos de tempo	X		
		Dificuldade para acessar informações na linha de produção	X		

Tabela 14 – Riscos mensurados para a PoC de Computação Cognitiva.

FONTE: O AUTOR.

Além dos pontos já mencionados, há outro aspecto que tem sido uma barreira significativa para comprovar o Retorno do Investimento (ROI) sob o processo que se deseja aplicar uma solução. A falta de informações, vindas de pessoas que trabalham na área, faz com que se tenha uma visão muito abstrata do lucro real que a empresa poderá ter com a implementação da PoC. Por envolver conceitos novos e muitas vezes complexos torna-se muito difícil

um cálculo simplificado do *payback* em determinado período. Normalmente, as empresas trabalham com um retorno de um ano para que se possa investir assertivamente na ideia proposta. Caso contrário, é pouco provável que membros da direção deem continuidade a implantação. Dessa forma, pode-se concluir que todo o levantamento de dados para o processo de execução de uma Prova de Conceito eficiente precisa seguir uma metodologia que traga elementos suficientes para se comprovar os possíveis custos envolvidos na atividade.

### 3.5 PROJETO DE TRANSFORMAÇÃO DIGITAL – FMS (*FOUNDRY MANAGEMENT SYSTEM*)

A empresa avaliada ainda está adquirindo maturidade para implementação de projetos voltados a I4.0. Há muitas barreiras que não são adequadamente verificadas e que acarretam em dificuldades técnicas graves que podem vir a comprometer a continuidade dos trabalhos. Fato esse que veio a ocorrer no projeto chamado FMS onde a execução seria em uma Fundição de Alumínio situada na Argentina. Essa companhia apresentava problemas de performance na produção e precisava melhorar seus números para atender as demandas de fabricação de peças para motores, por causa do lançamento de novos produtos previstos nos próximos anos. Ela não possuía nenhum sistema integrado sendo que o controle de produção, compras, logística, manutenção e financeiro era feito em planilhas eletrônicas sem nenhuma padronização. A solução encontrada pela equipe de projeto foi fazer a integração dos sistemas de *Supply Chain*, Manufatura, Manutenção e Financeiro em uma única plataforma que permitisse um controle de produção mais eficiente. Essa plataforma seria um SaaS (*Software as a Service*) que ficaria na Nuvem.

Iniciado as etapas preliminares do projeto, percebeu-se que questões relacionadas a infraestrutura seriam impactantes na execução do mesmo. A Fundição era uma planta antiga e não foi projetada para atender um alto volume de produção. Além disso, *gaps* voltados a conectividade ficaram expostos após a aplicação de uma Prova de Conceito com um fornecedor americano que fez testes experimentais para registro de peças fundidas que saiam da linha e imprimiam uma etiqueta de identificação. Todos esses dados

eram armazenados na Nuvem do fornecedor. O projeto seguiu com a contratação do fornecedor. Este processo demorou aproximadamente um ano e culminou com o acerto com um provedor diferente do que se implementou a PoC.

Os prazos para a entrega do projeto eram muito apertados e não condiziam com a realidade da Fundação, visto que seus processos não eram bem mapeados e demandariam um esforço a mais para realizar esta tarefa. Dessa forma, o *Go Live* foi postergado por três vezes gerando uma desconfiança considerável por parte do cliente. Além disso, durante a fase de execução notou-se que não havia o engajamento esperado por parte dos colaboradores da Fundação. Muitos acreditavam que o novo sistema iria dificultar o trabalho atual deles e poderia expor algumas limitações do processo diretamente relacionadas aos recursos humanos. Por fim, o fornecedor contratado demonstrou um nível de maturidade muito abaixo para atender os requisitos mínimos do projeto. O seu produto estava muito aquém do divulgado pelos seus colaboradores pois não era adaptável para a realidade da Fundação. Sendo assim, foi solicitado um novo repasse financeiro para que fosse possível cumprir os pré-requisitos e desenvolver uma solução mais compatível para o processo de injeção de alumínio. Tal fato gerou um impasse entre o cliente, *stakeholders*, equipe de projeto e fornecedor. Passados dois anos e meio de trabalho, optou-se pelo encerramento deste projeto sem uma entrega efetiva concluída.

Com o objetivo de levantar os principais tópicos que contribuíram para o fracasso do projeto foi desenvolvida uma avaliação pelo atual chefe de projetos em formato de *Survey*. O questionário foi distribuído para o cliente, equipe de projeto e *stakeholders*. Os resultados obtidos foram classificados conforme a técnica *StarFish* define através de três perguntas: (1) O que precisa-se manter (*keep doing*)?; (2) O que precisa-se parar de fazer (*stop doing*)?; e (3) O que precisa-se começar a fazer (*start doing*)?. Os dados estão disponíveis na Tabela 15.

Três pontos que possuem relação com Provas de Conceito foram destacados na Tabela 15: (1) Parar de fazer PoCs superficiais; (2) Realizar PoCs com todos os fornecedores; e (3) Criar um *checklist* padrão para avaliar as PoCs baseado nas necessidades dos projetos. Todos têm uma relação

direta a proposta desta pesquisa. É preciso construir Provas de Conceito que sejam capazes de agregar valor ao projeto fornecendo resultados significativos e que permitam tomadas de decisão assertivas tendo como base fatos e dados sólidos. O segundo é justamente um dos *gaps* que impactou diretamente a continuidade do projeto. Há a necessidade de se qualificar os fornecedores mediante certos critérios de avaliação. Um desses critérios pode ser o uso de PoC onde o provedor deverá entregar uma solução pontual, a nível experimental, em um tempo adequado e com qualidade compatível com os objetivos estratégicos da empresa. A Prova de Conceito não deve apenas implementar uma tecnologia, mas sim analisar o potencial da organização para implementá-las tendo como base um modelo de referência de mercado ou da literatura. Além disso, deve-se obter uma lista de possíveis soluções a serem aplicadas seguindo as limitações identificadas através de um diagnóstico apurado. Um projeto pode ser constituído de muitas PoCs implantadas em áreas onde se deseja adotar um conceito da I4.0 ainda não empregado na companhia. Provavelmente os resultados gerados seriam muito mais impactantes e dariam uma visão de como poderá ser a solução técnica ideal para execução do projeto.

Nº	Lição	Continuar	Iniciar	Parar
1	Considerar mais de um fornecedor e mais de uma solução para o problema em questão.	X		
2	As reuniões semanais do projeto foram bem conduzidas.	X		
3	Nós sempre tomamos decisões com base no que era melhor para a empresa, não poderíamos aceitar um produto que não atendia as áreas de negócio perfeitamente.	X		
4	Os objetivos do projeto foram mapeados corretamente.	X		
5	Não houve nenhum conflito registrado entre os funcionários da empresa durante o projeto.	X		
<b>6</b>	<b>Parar de fazer PoCs superficiais.</b>			<b>X</b>
7	Não aceitar soluções sem considerar o detalhamento dos processos e a interface dos sistemas.			X
8	Parar de tomar decisões sem mapear, em detalhes, os processos envolvidos.			X
9	Não acreditar fielmente em apresentações e demonstrações de fornecedores sem realizar uma avaliação crítica que garanta o atendimento do escopo do projeto.			X
10	Não fazer nenhum pagamento sem receber o produto antes (fim do ano fiscal).			X
11	Envolver os usuários chave para tomada de decisão de escolha do fornecedor.		X	
12	Detalhar todos os processos antes de se iniciar a execução.		X	
13	Necessário uma demonstração do produto que se está trabalhando.		X	
14	Detalhar itens subjetivos (Programação Otimizada – O que é otimizada?).		X	
15	Fornecedor precisa provar os ganhos apresentados com fatos e dados.		X	
<b>16</b>	<b>Realizar PoCs com todos os fornecedores.</b>		<b>X</b>	
<b>17</b>	<b>Criar um <i>checklist</i> padrão para avaliar as PoCs baseado nas necessidades dos projetos.</b>		<b>X</b>	

---

Tabela 15 – Levantamento das lições aprendidas no Projeto FMS através do método *StartFish*.

FONTE: O AUTOR.

### 3.6 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo teve como objetivo apresentar o processo de execução de uma Prova de Conceito e os *cases* de aplicação que tiveram dificuldades de implementação. Destaca-se a Prova de Conceito de Manutenção Preditiva que envolvia muitas barreiras técnicas que dependiam de uma solução que envolvesse muitos atores não tão engajados. Percebeu-se a real importância da interoperabilidade sob um aspecto interno e externo a empresa. O mesmo vale ao *case* do Projeto FMS descrito. A questão envolvendo a contratação qualificada de fornecedores, com conhecimento voltado a I4.0, envolve critérios complexos que precisam ser avaliados para uma tomada de decisão assertiva.

Com todas essas informações levantadas, que tiveram um impacto considerável nesta pesquisa, foi possível construir um *framework* que relaciona requisitos funcionais, tecnologias aplicáveis e interoperabilidade. Dessa forma se resultou em uma estrutura tridimensional onde se desenvolveu uma Arquitetura Referencial, uma Análise Diagnóstica de Maturidade e uma Arquitetura Funcional Propositiva. O Capítulo 04 irá descrever a metodologia empregada e a contribuição esperada na resolução dos problemas destacados neste capítulo.

## 4 FRAMEWORK PROPOSTO

Com base nas informações levantadas na revisão de literatura e nos cases existentes de Provas de Conceito aplicadas na indústria automotiva, mencionados de forma detalhada no capítulo 03, obteve-se o *framework* RDPM I4.0. O nome, *Referential Diagnostic and Propositional Model*, faz referência aos três objetivos propostos: o desenvolvimento de uma Arquitetura Referencial (*Referential*), Avaliação de Maturidade (*Diagnostic*) e Arquitetura Funcional (*Propositional*) voltadas a Indústria 4.0. Sendo assim, o capítulo está estruturado da seguinte forma: A seção 4.1 apresentará a metodologia, a 4.1.1 falará sobre a Arquitetura Referencial (S1), a 4.1.2 tratará sobre a Avaliação Diagnóstica (S2), a 4.1.3 abordará a Arquitetura Funcional (S3), e por fim, a 4.2 fará as considerações finais e síntese do capítulo.

### 4.1 PROPOSTA *FRAMEWORK* RDPM I4.0 (*REFERENTIAL, DIAGNOSTIC AND PROPOSITIONAL MODEL*) PARA PROVAS DE CONCEITO

O *framework* RDPM I4.0 (Figura 14) é baseado em uma estrutura tridimensional em formato de um cubo onde as faces são denominadas de Referencial (S1), Diagnóstica (S2) e Propositiva (S3). A Face S1 é constituída através da relação entre os requisitos funcionais (aresta vertical) e soluções tecnológicas aplicáveis da I4.0 (aresta horizontal). O uso dos métodos multicritério de tomada de decisão AHP e Promethee irão fornecer elementos que contribuirão para se definir o melhor modelo referencial possível para o conceito a ser adotado. Após a construção da Arquitetura Referencial, o fluxo processual do modelo se direciona para a Face S2 (seta laranja) que fornecerá uma avaliação com viés diagnóstico da organização para implementação dos conceitos propostos. Ela leva em conta aspectos voltados as barreiras de interoperabilidade do tipo conceitual, tecnológica e organizacional dos *concerns Business, Process, Service e Data* (aresta horizontal) com os requisitos funcionais (FRs) oriundos da S1. Dessa forma se analisa quais barreiras de interoperabilidade a empresa possui e a mensuração de seu impacto no cumprimento dos FRs do conceito a ser implantado. O método MCDM/A usado

para fazer este estudo também será o AHP que irá categorizar os FRs em relação aos *concerns* de interoperabilidade. Em seguida, fará a avaliação de maturidade com as barreiras identificadas optando pelas opções que mais se aproximam da realidade da empresa. Após a conclusão das análises de maturidade, a última etapa do modelo é a criação de uma Arquitetura Funcional (S3) com base nos resultados obtidos das faces S1 e S2. O objetivo da face Propositiva é escolher a(s) melhor(es) tecnologia(s) interoperáveis para que a PoC atenda o escopo estabelecido. Para esta última avaliação, será construído um quadro relacional, envolvendo as barreiras de interoperabilidade e as tecnologias aplicáveis, onde será aplicado somente o método Promethee para a obtenção dos dados finais.

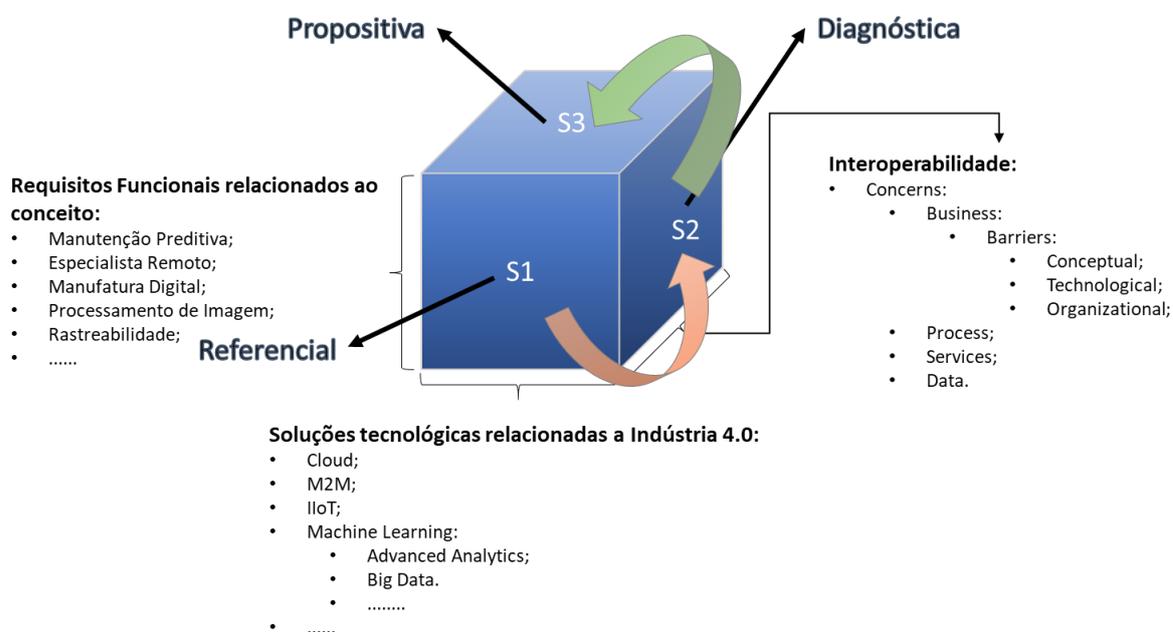


Figura 14 – Representação do *Framework* RDPM I4.0 em formato tridimensional.

FONTE: O AUTOR.

Com isso, a fase de *Ideation* da Prova de Conceito está completa contendo elementos sólidos para a sequência do processo. O piloto da PoC terá uma visão mais estendida sobre o conceito que se pretende inserir na organização se for comparado com o procedimento atual existente. Para melhor compreender como se obtém a Arquitetura Referencial (S1), a Avaliação Diagnóstica (S2) e a Arquitetura Funcional (S3), as seções 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 descreverão a metodologia empregada para cada face do *framework* RDPM I4.0, respectivamente.

#### 4.1.1 Descrição Face 01 – Arquitetura Referencial

A Arquitetura Referencial é essencial para se ter as informações preliminares do conceito, relacionado a Indústria 4.0, que se deseja implantar na organização. Com o modelo de referência tem-se uma base fundamentada sólida da Prova de Conceito proporcionando uma visão mais estendida, com base em visões dos especialistas, da literatura e de mercado, que resultarão numa solução mais assertiva para a PoC. Dessa forma, a Figura 15, exhibe o fluxo de processo para se construir a Arquitetura Referencial (S1) tendo como apoio o *framework* RAMI 4.0.

Os *layers Business, Functional, Information, Communication, Integration e Assets* (Base referencial RAMI 4.0 – Figura 15) fornecem uma visão em seis camadas que possibilitam mapear as principais características para a Prova de Conceito em diferentes níveis estratégicos. Em *Assets*, se insere os elementos físicos que irão coletar as informações. Normalmente, são *hardwares* inteligentes (e.g. sensores, atuadores, câmeras) que geram os *inputs* necessários para a PoC. *Integration* engloba aspectos voltados aos protocolos de comunicação que permitem com que a integração do ambiente físico com o virtual seja bem-sucedida. Como exemplo de uma interface adaptável para equipamentos de chão de fábrica, tem-se o padrão OPC-UA que possui requisitos de integração voltados a Indústria 4.0. *Information* é relativo ao tipo, qualidade e quantidade dos dados que estão sendo armazenados. Não basta apenas ter dispositivos que proporcionem a aquisição de informações, mas sim a capacidade de avaliar quais dados são essenciais para atender as necessidades do conceito que está se tentando provar. Sendo assim, é preciso ter um conhecimento aceitável sobre o processo para evitar um esforço significativo em coletar dados pouco relevantes para a PoC. A camada de *Communication* proporciona a interação dos elementos já coletados com outros sistemas de forma a garantir a interoperabilidade entre *softwares* legados e customizados de acordo com as especificações do cliente. *Functional* fornece a verificação dos dados oriundos do ambiente através de algoritmos avançados que correlacionam as informações e geram um diagnóstico apurado atendendo as necessidades da organização. Por fim, após os resultados vindos dos cinco níveis já avaliados, tem-se *Business* que envolve diretamente a capacidade

das pessoas em tomar decisões baseando-se em elementos conclusivos concebidos pelas ferramentas técnicas utilizadas. Dessa forma, os requisitos funcionais e as tecnologias aplicáveis (Bloco *Inputs Eixos S1* – Figura 15) são reunidos através da opinião de especialistas por um *Survey* ou entrevistas e de trabalhos científicos da literatura que apresentem *cases* similares aos da Prova de Conceito que se deseja implementar.

Com isso, a última etapa do processo é a relação entre os requisitos funcionais e as tecnologias utilizando os métodos multicritério de tomada de decisão AHP e Promethee. O primeiro tem como objetivo ponderar os atributos e seus devidos requisitos funcionais que sustentam a análise para cada camada do modelo RAMI 4.0. O segundo irá relacionar o último nível (FRs) da hierarquia constituída no método AHP, com os devidos pesos inclusos, com as tecnologias obtidas através da literatura. Essa avaliação tem como objetivo verificar quais tecnologias são mais aderentes aos requisitos do conceito que se pretende inserir na empresa. Novamente, isso vale para cada camada do RAMI 4.0. Sendo assim, tem-se seis arquivos desenvolvidos com o método AHP e seis arquivos desenvolvidos com o método Promethee. Com os resultados oriundos dos modelos AHP e Promethee, tem-se a Arquitetura Referencial (S1) para a PoC.

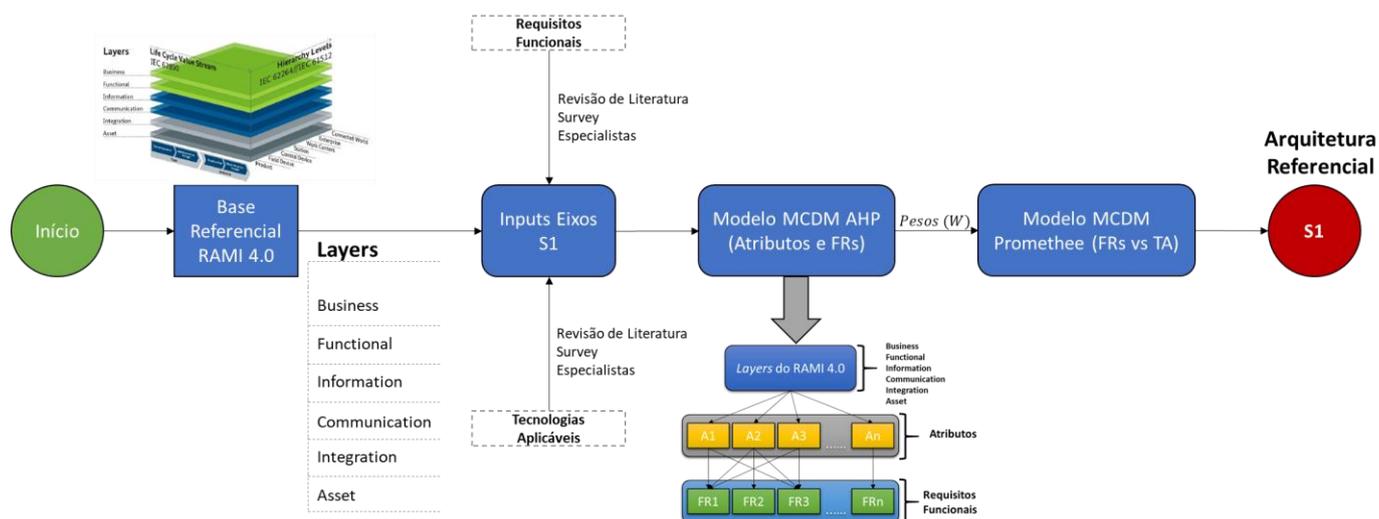


Figura 15 – Fluxo processual para desenvolvimento da Arquitetura Referencial.

FONTE: O AUTOR.

Um dos pontos mais importantes da face S1 do *framework* RDPM I4.0 é a definição dos requisitos funcionais (FRs) que se necessita coletar. Primeiro, é necessário levantar quais são os atributos mais significativos do conceito a ser

introduzido e na sequência a aquisição dos FRs que suportam os atributos encontrados. A Figura 16 apresenta, no lado direito, a explanação do que são atributos e a influência nos requisitos funcionais, e no lado esquerdo, um exemplo de aplicação com o conceito do Especialista Remoto, abordado no Capítulo 03, para contextualizar o uso dos mesmos.

Os atributos são características, adjetivos ou nomes que contribuem para problematizar a Prova de Conceito. Com base neles é possível determinar os requisitos funcionais que atendem os atributos estabelecidos. Foram definidas três particularidades: Usabilidade, Conectividade e Manutenção. O primeiro refere-se a forma de manipulação da ferramenta que se pretende implementar. O segundo menciona elementos que garantem com que a conectividade com a internet apresente um desempenho aceitável proporcionando a funcionalidade efetiva da PoC. O último envolve critérios para manutenção de *software/hardware* de maneira ágil. De forma a suportar os atributos de Usabilidade, Conectividade e Manutenção, alguns FRs para a PoC de Especialista Remoto são uma Interface Amigável com o Usuário, Internet de Alta Velocidade e Atualização de *Software* e *Hardware* Simplificada.

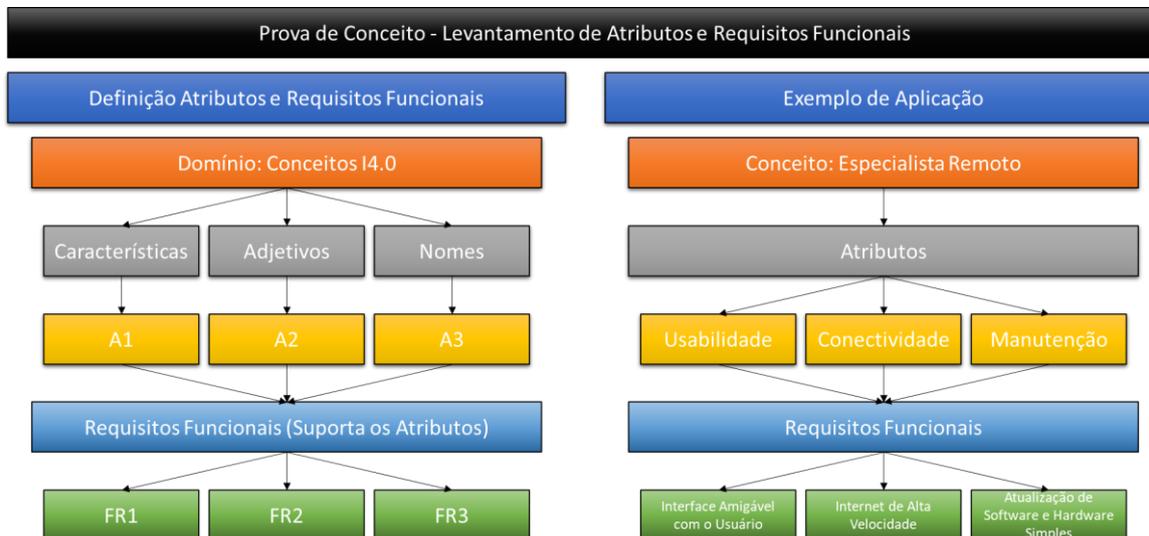


Figura 16 – Definição de Atributos e Requisitos Funcionais.

FONTE: O AUTOR.

Para a construção do método AHP, adotou-se uma estrutura hierárquica de três camadas, apresentada na Figura 17, onde os dados oriundos do levantamento dos requisitos funcionais e tecnologias aplicáveis são inseridos no modelo. O primeiro nível faz referência aos *layers* do *framework* RAMI 4.0.

O segundo traz os atributos coletados. Por fim, o terceiro aborda os requisitos funcionais necessários para se provar o conceito. O AHP fornecerá uma avaliação através de uma escala relativa (*Saaty*) onde se obterá os pesos entre os atributos e os requisitos funcionais inseridos. Essas informações serão de grande relevância para a sequência do modelo processual que envolve o quadro relacional entre os requisitos funcionais e as tecnologias aplicáveis utilizando o Promethee.

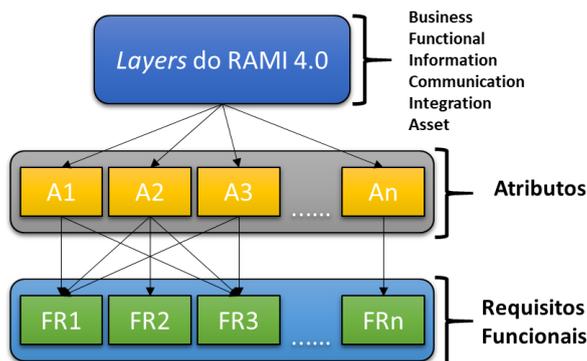


Figura 17 – Estrutura hierárquica do modelo AHP.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 16 esboça como é a estrutura dessa relação dentro do software Visual Promethee V1.4.0.0. Os elementos que compõem o modelo são os critérios (Requisitos Funcionais) destacados pelo retângulo vermelho, a escala de 10 pontos (retângulo amarelo), a classificação do critério (retângulo verde), o peso atribuído a ele (retângulo roxo) e, por fim, as alternativas representadas pelas tecnologias (retângulo azul).

Parâmetros do Promethee		Avaliação Propositiva – Barreiras de Interoperabilidade vs Tecnologias Aplicáveis				
		FR_01	FR_02	FR_03	....	FR_N
Scenario	Unit	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)
	Cluster/Group	Atributo_01	Atributo_02	Atributo_03	....	Atributo_N
Preferences	Min/Max	Min	Min	Min	Min	Min
	Weight	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>
	Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
	Thresholds	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
	- Q: Indifference	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	- P: Preference	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Statistics	- S: Gaussian	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Average	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Evaluations	Standard Deviation	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	TA_01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	TA_02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	TA_03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	....	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TA_N	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

Tabela 16 – Quadro relacional (Requisitos Funcionais vs Tecnologias Aplicáveis) com o método Promethee.

FONTE: O AUTOR.

A escala definida para avaliação do quadro relacional é mencionada na Tabela 17. Uma série com nove pontos permite que se tenha uma análise mais apurada dos elementos de avaliação. O valor 1 (Muito Baixo) indica que a associação entre critérios (neste caso os requisitos funcionais) e tecnologias aplicáveis é mínima que infere pouco na solução levando-se em consideração as principais funcionalidades do conceito a ser adotado. O número considerado ideal é o 9, o que demonstra que a tecnologia é a que se apresenta como a mais favorável na implementação do experimento. Essa escala será utilizada para todos os modelos Promethee constituídos.

Nº	Sigla	Nome
1	VL	Muito Baixo
2	VL-L	Muito Baixo – Baixo
3	L	Baixo
4	L-A	Baixo – Médio
5	A	Médio
6	A-H	Médio – Alto
7	H	Alto
8	H-VH	Alto – Muito Alto
9	VH	Muito Alto

Tabela 17 – Escala do método Promethee a ser utilizada na avaliação.

FONTE: O AUTOR.

Após o término das análises com o método Promethee, se obtém a Arquitetura Referencial onde se aponta qual o recurso técnico é mais impactante para o conceito proposto. Com base nisso, a próxima etapa será

realizar uma avaliação diagnóstica para que se tenha uma visão do ambiente da empresa na adoção dos requisitos necessários para executar a PoC.

#### **4.1.2 Descrição Face 02 – Avaliação de Maturidade (Diagnóstico)**

A etapa de Avaliação Diagnóstica na organização para a implantação da Prova de Conceito é fundamental para se conhecer o ambiente onde se pretende aplicar o experimento. Muitos *gaps* podem ser diagnosticados previamente, possibilitando com que a empresa se prepare em tempo hábil para diminuir o impacto das barreiras de interoperabilidade identificadas. A Figura 18 exibe o fluxo processual contendo todas as etapas para se analisar o potencial da organização para introdução de PoCs voltadas a I4.0. Como modelo de referência, adotou-se o FEI (Chen e Daclin, 2008) onde os quatro *concerns* de interoperabilidade e os três tipos de barreiras existentes serão elementos cruciais para a elaboração de um diagnóstico eficiente da companhia.

Os *inputs* para a Face S2 (Diagnóstica) são os requisitos funcionais, já obtidos na construção da Arquitetura Referencial da Face S1, e as barreiras de interoperabilidade que serão levantadas através de consultas a especialistas e em trabalhos relacionados ao tema na literatura. Normalmente, as barreiras de características técnicas necessitam de profissionais com conhecimento mais específico na área onde se atuará a Prova de Conceito. Para as do tipo conceitual e organização é recomendado um colaborador com uma visão mais da área estratégica com compreensão nos processos internos da organização. Após a aquisição das devidas informações, inicia-se a criação do modelo AHP que irá conter a estrutura hierárquica de todos os elementos que compõem as barreiras de interoperabilidade. Dessa forma, se obtém a ponderação das barreiras para que se possa verificar o nível de relevância que elas detêm, sob o ponto de vista da empresa que está sendo avaliada. Por fim, os pesos resultantes da última camada do modelo AHP (nesse caso são as barreiras de interoperabilidade) são transportados ao modelo no Promethee para que o quadro relacional seja desenvolvido (Barreiras de Interoperabilidade vs Requisitos Funcionais). Tem-se no final da análise o nível de impacto das barreiras em relação a cada requisito funcional pertencente a cada camada do modelo RAMI 4.0.

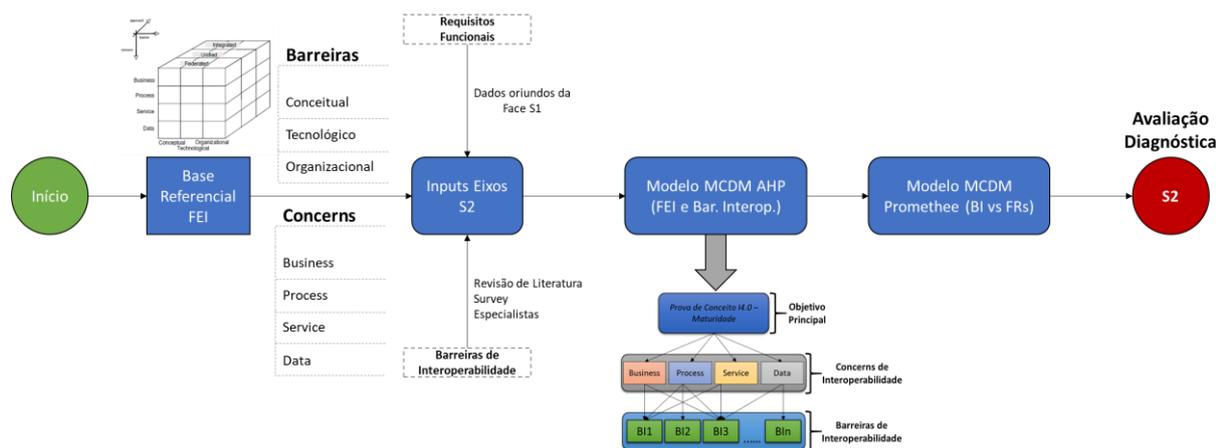


Figura 18 – Fluxo processual para desenvolvimento da avaliação diagnóstica.

FONTE: O AUTOR.

A Figura 19 demonstra a estrutura hierárquica que contém as quatro camadas do modelo FEI (*Business, Process, Service e Data*) que categorizam as barreiras de interoperabilidade determinadas pela literatura.

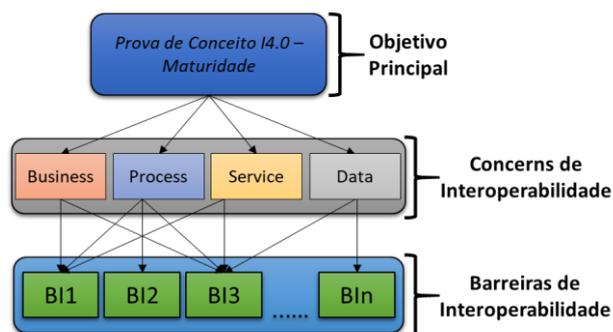


Figura 19 – Estrutura hierárquica do modelo AHP Interoperabilidade.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 18 aborda o quadro relacional, utilizando o método Promethee, de forma que se possa mensurar o impacto das barreiras de interoperabilidade frente aos requisitos funcionais. Para se associar as barreiras com os requisitos funcionais, é necessário levar em consideração as definições das camadas do *framework* RAMI 4.0, e assim apontar os elementos mais condizentes com cada *layer* existente. Esta relação é feita com mais propriedade quando se tem o contexto da PoC bem definido. Considera-se preponderante observar a classificação de cada barreira com base nas definições do *framework* FEI. Os pesos determinados no AHP são inseridos no Promethee no campo “*Weight*” (retângulo roxo). As barreiras são listadas no local onde se insere os critérios

(retângulo vermelho). No campo “*Cluster/Group*” tem-se a devida categorização dos tipos de barreiras de interoperabilidade cujo local está representado pelo retângulo verde. Na categoria de “*Evaluation*” estão presentes os requisitos funcionais pertencentes a camada do RAMI 4.0 que está sendo avaliada. Por fim, a escala adotada é a mesma já atribuída na modelagem referencial da Face 01 (S1).

Parâmetros do Promethee		Avaliação Propositiva – Barreiras de Interoperabilidade vs Tecnologias Aplicáveis				
		BI_01	BI_02	BI_03	....	BI_N
Scenario	Unit	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)
	Cluster/Group	Conceitual	Tecnológico	Organizacional	Conceitual	Tecnológico
Preferences	Min/Max	Min	Min	Min	Min	Min
	Weight	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>
	Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
	Thresholds	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
	- Q: Indifference	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	- P: Preference	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	- S: Gaussian	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Statistics	Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Average	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Standard Deviation	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Evaluations	FR_01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	FR_02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	FR_03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	....	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	FR_N	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabela 18 – Estrutura do quadro relacional no Promethee para a Face 02 (Diagnóstica).

FONTE: O AUTOR.

Ao fim deste diagnóstico, a próxima etapa será a elaboração de uma Arquitetura Funcional (Face S3) que contenha as tecnologias habilitadoras para a Prova de Conceito relacionadas com as barreiras de interoperabilidade identificadas na Face S2.

#### 4.1.3 Descrição Face 03 – Arquitetura Funcional (Propositiva)

A Arquitetura Funcional permite que se adapte a Arquitetura de Referência (Face S1) nas condições reais da organização, sob a ótica da interoperabilidade (Face S2), apresentando um modelo para introdução da PoC. A Figura 20 exhibe o fluxo processual para a construção da proposta tendo como *inputs* as Tecnologias Aplicáveis e as Barreiras de Interoperabilidade já conhecidas.

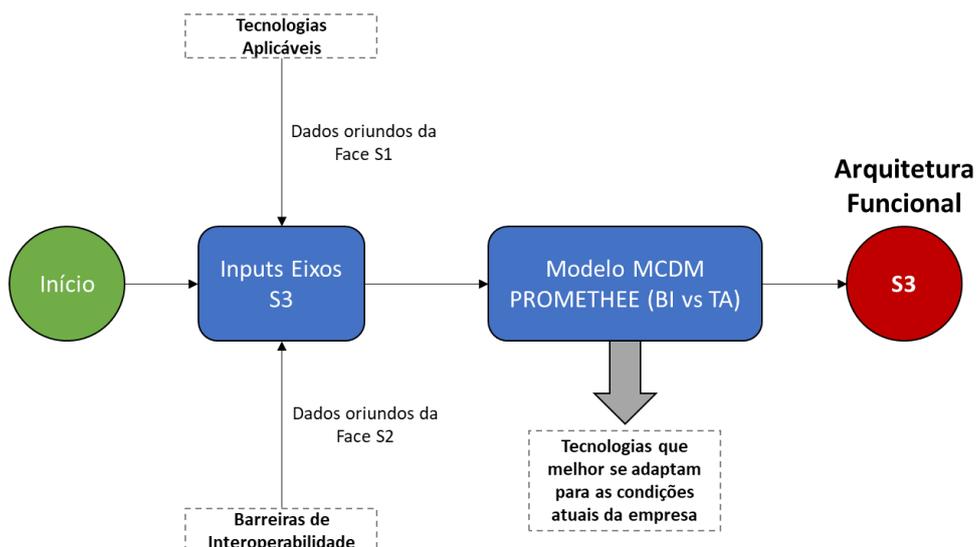


Figura 20 – Fluxo processual para desenvolvimento da Arquitetura Funcional (Face S3).

FONTE: O AUTOR.

A relação entre Tecnologias Aplicáveis e Barreiras de Interoperabilidade determina qual recurso técnico será mais condizente para que se atenda as barreiras identificadas garantindo a execução assertiva do experimento. O modelo Promethee possui as mesmas características estruturais já apontadas nas Faces S1 e S2. Neste caso, tem-se a relação entre as barreiras e as soluções conforme apresenta a Tabela 29. Os pesos que compõem a avaliação são os mesmos valores obtidos no modelo AHP da avaliação diagnóstica. Considera-se que a forma de se atribuir a nota da escala nesta avaliação não pode seguir um caráter subjetivo, o que induziria a solução de acordo com a visão do profissional que a está julgando. Sendo assim, é necessário determinar uma forma de criar uma relação entre os dados resultantes, do modelo Promethee, da fase referencial com a fase diagnóstica, para que essas informações sejam levadas até a Face S3. Esta fórmula matemática foi obtida após a obtenção dos resultados da Face 01 e 02 para o case da PoC de Rastreabilidade de Embalagens (descrito em detalhes no Capítulo 05). Ela reporta um valor que serve de referência para a composição da escala. Ressalta-se que a escala utilizada é sempre a de nove pontos. Para fins de melhor compreensão, ela está melhor contextualizada na seção 5.5.1.

Parâmetros do Promethee		Avaliação Propositiva – Barreiras de Interoperabilidade vs Tecnologias Aplicáveis				
		BI_01	BI_02	BI_03	....	BI_N
Scenario	Unit	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)	TO-BE (10 points)
	Cluster/Group	Conceitual	Tecnológico	Organizacional	Conceitual	Tecnológico
Preferences	Min/Max	Min	Min	Min	Min	Min
	Weight	$W$	$W$	$W$	$W$	$W$
	Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
	Thresholds	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
	- Q: Indifference	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	- P: Preference	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	- S: Gaussian	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Statistics	Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Average	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Standard Deviation	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Evaluations	TA_01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	TA_02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	TA_03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	....	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	TA_N	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabela 19 – Estrutura do quadro relacional no Promethee para a Face 03 (Propositiva).

FONTE: O AUTOR.

Após se deter os dados através do modelo Promethee, tem-se concluída a análise estipulada pelo *framework* RDPM I4.0 contendo as informações mais relevantes para a concepção da Prova de Conceito.

## 4.2 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou o *framework* RDPM I4.0 que tem como objetivo facilitar a implementação de Provas de Conceito (PoCs) em uma organização. As seções 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 trataram de descrever as três faces do cubo, respectivamente, destacando os principais *inputs*, oriundos da literatura e de casos reais, que resultam em *outputs* denominados Arquitetura Referencial (S1), Avaliação Diagnóstica (S2) e Arquitetura Funcional (S3). Foi detalhado também o uso dos métodos multicritérios de tomada de decisão como o AHP e Promethee. Eles foram escolhidos porque possibilitam a priorização entre os critérios, a avaliação de maturidade dos mesmos, a ranqueamento e a análise de influência. Todos esses elementos citados compõem a Fase de *Ideation* da Prova de Conceito.

O modelo RDPM I4.0 será aplicado numa empresa do setor automotivo que atua no mercado brasileiro há vinte anos. Ela vem adotando estratégias para implantação da Indústria 4.0 de forma mais contundente desde 2015. Através do uso de metodologias, como PoCs, avanços relevantes têm sido

obtidos em curto espaço de tempo, possibilitando que, em 2017, uma equipe de trabalho específica de Transformação Digital fosse alocada dentro da área de TI. Dessa forma, criou-se inúmeras iniciativas para o desenvolvimento de projetos digitais adotadas em diversos setores da empresa. Devido ao aumento da venda de novos veículos e a dificuldade de se encontrar soluções para aumentar a performance da linha de produção, a direção de manufatura, a nível mundial, tem requisitado a inserção imediata de novas tecnologias que permitam que o operador possa efetuar seu trabalho corretamente. Dessa forma, diversas dificuldades de implementação têm surgido devido à falta de conhecimento técnico, de recursos, de infraestrutura e de gestão estratégica. A adoção do *framework* RDPM I4.0 impactará significativamente na evolução das Provas de Conceito e, conseqüentemente, acelerará a execução dos projetos digitais.

Para fins de aplicação do *framework* de forma que se julgue melhor a sua viabilidade diante do volume de elementos que se pode elencar e da conseqüente antecipação de possíveis dificuldades existentes ainda desconhecidas pela equipe, optou-se pela PoC de Rastreabilidade de Embalagens que será adotada no setor logístico. A justificativa para a escolha desse experimento será melhor abordada no Capítulo 05 – Seção 5.1.

## 5 RESULTADOS OBTIDOS

De forma a comprovar a metodologia destacada no capítulo anterior, foi definido o *case* de Rastreabilidade de Embalagens a ser implementado no setor de logística de uma multinacional do setor automotivo. No entanto, foi realizado um levantamento apurado de quais *cases* seriam compatíveis para o emprego da proposta da pesquisa antes de iniciar a construção do modelo referencial (S1). Dessa forma, a seção 5.1 define como foi feita a escolha da PoC de Rastreabilidade de Embalagens. A seção 5.2 descreve o experimento definido contextualizando os elementos característicos do processo logístico. A seção 5.3 trata do *framework* RDPM I4.0 sob a face referencial (S1) incluindo os devidos requisitos funcionais e as tecnologias levantadas da literatura. A seção 5.4 menciona o modelo diagnóstico (S2) cujo o foco é relacionar os mesmos requisitos funcionais da Face S1 com as barreiras de interoperabilidade muito frequentes ao *case* em questão. Por fim, tem-se a constituição do modelo propositivo (S3), apresentado na seção 5.5, que fornecerá a melhor tecnologia a ser empregada seguindo a estrutura das seis camadas do RAMI 4.0 (*Business, Functional, Information, Communication, Integration e Assets*).

### 5.1 DEFINIÇÃO DA POC

O *framework* RDPM I4.0 tem aplicabilidade para qualquer Prova de Conceito. No entanto, para fins de comprovação científica do modelo é fundamental que o *case* detenha o maior número de critérios técnicos possíveis para que se possa ter um apanhado de distintas tecnologias a serem aplicadas, assim como diversas barreiras de interoperabilidade mapeáveis. A Tabela 20 apresenta a lista de PoCs que tem gerado maior expectativa das áreas de negócios no ano de 2018. Destacam-se aquelas que possuem maior potencial as que detêm os resultados esperados muito com base nos possíveis retornos de investimento (RoI) direcionado a um problema crítico do processo. Este é o critério que a organização tem utilizado para suportar as suas tomadas de decisão voltadas ao *roadmap* de execução de iniciativas e/ou projetos digitais.

Outro ponto que tem sido observado com mais afinco é o grau de dificuldade de implementação de determinada PoC. Na situação atual este tipo de análise é pautado mais por experiência de colaboradores e gestores de projetos, o que caracteriza uma avaliação com viés subjetiva. A área de atuação e a classificação das PoCs são campos que requerem uma observação mais cautelosa devido aos objetivos distintos dos setores da empresa. Destacam-se como os tipos de PoCs adotados pela organização como sendo vinculados a processos (Inovação Processual), direcionados a procedimentos de execução de atividades (Inovação Procedural), quanto ao uso de equipamentos mecânicos (Inovação Mecânica) e, por fim, tem-se a Inovação Conceitual relacionada com mudanças de conceito no qual a companhia tem passado. Além disso, foi constituído um ranqueamento que determina o nível de dificuldade de implementação da PoC dentro da organização. O nível “Alto” remete que a iniciativa está sendo implementada pela primeira vez e ainda precisa mapear todas as possíveis barreiras existentes. O nível “Médio” trata da PoC que já possui um histórico de aplicação, independente de ter sido bem ou malsucedida. Por último, tem-se o nível “Baixo” que se refere a adaptação de uma PoC já implementada, e bem-sucedida, de uma para outra área da empresa.

Nome da PoC	Tipo de PoC	Área de Implementação	Objetivo	Resultados Esperados	Grau de Dificuldade
Rastreabilidade de Embalagens	Inovação Processual	Logística	Garantir a rastreabilidade das embalagens de forma que seja possível saber onde elas se encontram.	A identificação de posicionamento das embalagens deve ser rápida e eficiente para garantir a correta aplicação do processo.	Alto
Especialista Remoto	Inovação Procedural	Manutenção	Facilitar o procedimento técnico de uma manutenção corretiva de uma máquina.	O tempo de parada do processo ou de manutenção corretiva deve ser reduzido significativamente.	Alto
Exoesqueleto	Inovação Mecânica	Manufatura	Permitir com que o operador tenha um desgaste ergonômico menor do que o tradicional.	A performance do operador deve aumentar conforme especificado pelos supervisores de linha.	Alto
Sistemas de Visão	Inovação Processual	Manufatura/Qualidade	Avaliar possíveis falhas de qualidade processuais.	Diagnosticar as falhas e disparar o processo de correção antes do término do processo.	Alto
Almoxarifado Digital	Inovação Conceitual	Engenharia	Permitir que o estoque de algumas peças seja reduzido ou até mesmo eliminado para que a concepção seja feita por impressoras 3D.	Garantir que as peças impressas sejam constituídas de forma que não se perca a qualidade e eficiência do modelo original.	Médio

Tabela 20 – Levantamento das PoCs mais significativas para a empresa.

FONTE: O AUTOR.

Com a finalidade de reunir um bom *case* que alinhe tanto os objetivos da empresa quanto os objetivos da pesquisa de forma que o resultado satisfaça, sob um ponto de vista experimental, ambos os domínios de atuação. Cinco elementos chave foram agrupados e categorizados conforme a visão da empresa para cada PoC. A interoperabilidade é um dos componentes fundamentais na concepção da pesquisa. O mesmo potencial científico que possui também tem sido fortemente comprovado na necessidade de integração entre sistemas e dispositivos presentes, em sua maioria, nos processos produtivos e da cadeia de valor. O Retorno do Investimento (ROI) é uma característica prioritária para tomadas de decisão na empresa. O seu valor assim como o impacto que gerará no ambiente de aplicação são considerados relevantes para julgar a continuidade de uma iniciativa de inovação. O conhecimento científico é outro elemento que, embora não atraia a atenção de decisores da corporação, tem significância para o projeto acadêmico relatado. Os *cases* de atuação estão mais atrelados as perspectivas já avaliadas no mercado em relação ao problema que se deseja revolver através de uma solução tecnológica. Em outras palavras, é a análise do que já foi feito mundo afora, em termos de experimentação, que resultou em melhoras pontuais para as empresas. Através desta análise pode-se mensurar o tamanho do potencial de crescimento da solução que se deseja empregar. Três níveis de impacto foram determinados (Baixo, Médio e Alto) para classificar a iniciativa de inovação que seria escolhida. Esse ranqueamento foi feito com base no conhecimento do autor frente aos temas e da análise do ambiente da organização onde especialistas foram consultados. O resultado pode ser visualizado na Tabela 21. Com base na classificação concebida, verificou-se que a PoC de Rastreabilidade de Embalagens é mais atraente sob os olhares da organização e do pesquisador responsável pela experimentação do *framework* RDPM I4.0.

PoCs/Critérios de Definição	Rastreabilidade de Embalagens	Especialista Remoto	Exoesqueleto	Sistemas de Visão	Almoxarifado Digital
Interoperabilidade	Alto	Médio	Baixo	Médio	Baixo
ROI	Alto	Médio	Médio	Alto	Médio
Conhecimento Científico	Alto	Baixo	Alto	Alto	Médio
Cases de Atuação	Médio	Médio	Médio	Alto	Médio
Potencial de Crescimento	Alto	Alto	Médio	Médio	Médio

Tabela 21 – Critérios de priorização de Provas de Conceito para a empresa.

FONTE: O AUTOR.

## 5.2 DESCRIÇÃO DO CASE

A necessidade de se realizar um monitoramento mais efetivo sobre a localização das embalagens metálicas foi demandado pela equipe de logística devido a um volume significativo de perdas de *racks* resultando em uma perda na casa dos milhões. Os *racks* são embalagens metálicas onde se concentram para transporte as matérias-primas de compõem um veículo. Elas variam de tamanho de acordo com a quantidade e o volume das peças. Para o caso de estudo serão utilizados pallets metálicos desmontáveis conhecidos como SI-1200 (que possuem uma capacidade estática de 1200 kg). Muitas soluções já haviam sido pensadas para resolver o problema que tem uma característica processual. Em uma análise preliminar, notou-se que a falta de interoperabilidade e integração entre os sistemas legados permitiu que surgisse falhas no acompanhamento dos recursos que saiam da fábrica sob a responsabilidade da área. Porém, percebeu-se uma clara falta de gestão eficiente dos processos feita pela equipe que monitora boa parte do fluxo logístico por planilhas ou arquivos similares que podem ser facilmente manipulados por outras pessoas resultando em constante alteração dos dados vigentes. Sendo assim, verifica-se que a origem do problema não é necessariamente sistemas, e sim um mapeamento equivocado do processo de recebimento da matéria-prima oriundas de fornecedores. Dessa forma, tem-se

uma perda de embalagens, tanto metálicas quanto plásticas, com muita frequência. Em nível de volume, as embalagens metálicas são muito menores do que as plásticas, porém o seu custo de aquisição é dez vezes superior. A Figura 21 esboça como é o fluxo entre os fornecedores, transportadora e fábrica das peças e embalagens.

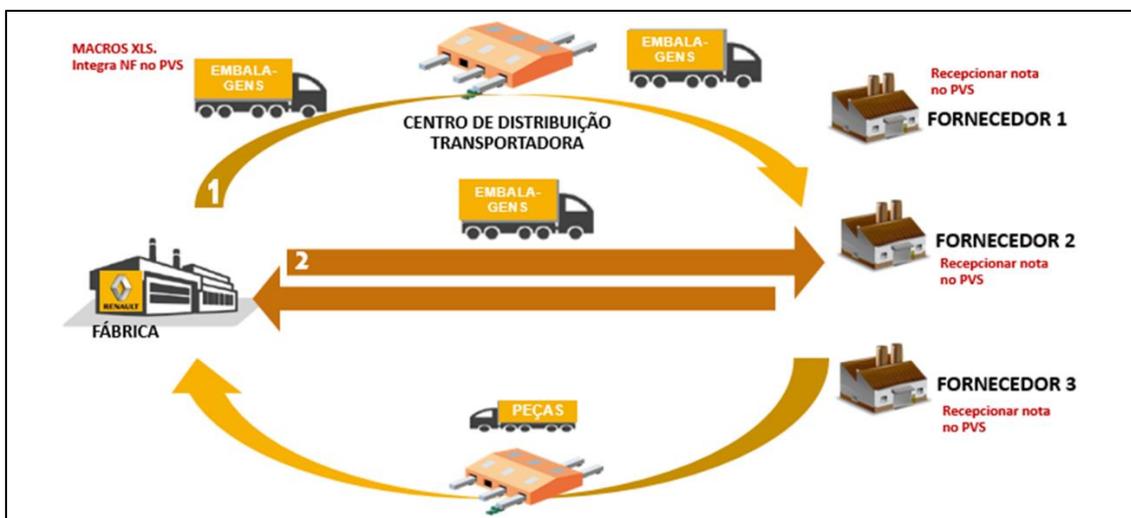


Figura 21 – Fluxo da gestão de embalagens da organização.

FONTE: MULTINACIONAL AUTOMOTIVA (2018).

Sob a luz da Figura 21, percebe-se que a três cenários de atuação mapeados atualmente. No cenário 01, as embalagens, sob propriedade da Renault do Brasil, saem da fábrica e se dirigem até a distribuidora. A distribuidora utiliza as embalagens para realizar o transporte de aquisição de peças no fornecedor (Fornecedor 01). Há um ponto já mencionado anteriormente e que é ressaltado na imagem sobre a interoperabilidade entre os sistemas. O NF (Nota Fiscal) é gerado na saída da embalagem da fábrica. Entretanto, é necessário realizar uma integração manual com um dos sistemas de controle de estoque chamado PVS (*Packaging Visibility System*) via macro no Excel. A mesma tarefa deve ser feita para quando a nota de entrada é registrada pelo fornecedor. Só nesse processo já se encontra um enorme risco de perda de controle do que saí e entra na empresa, em termos de embalagens, uma vez que esse ciclo se repete constantemente ao longo do dia diante de diferentes tipos de fornecedores. No cenário 02, tem-se a ausência do centro de distribuição permitindo que haja o fluxo direto entre a empresa e o fornecedor. Ressaltando que os mesmos problemas de integração entre sistemas permanecem. Por fim, o cenário 03 remete o cenário 01 só que com o

ciclo inverso, das embalagens com as respectivas peças saindo do fornecedor e se dirigindo a fábrica.

Apesar de ser um *gap* processual relevante, ele não está alocado somente no Brasil. A multinacional tem visto que o problema tem tomado proporções muito elevadas, sobretudo quando se menciona perdas financeiras. Em 2016 na França, iniciou-se alguns experimentos numa tentativa de amenizar o prejuízo utilizando tecnologia IoT de longa distância, conhecido também como LPWAN (*Low Power Wide Area Network*). Ela pertence a um tipo de comunicação M2M (*Machine-to-Machine*) que pode ser definida como uma “comunicação que ocorre entre máquinas (alguns objetos e dispositivos) com capacidade de se interagir sem a necessidade de intervenção humana” (Kim et al., 2014). A LPWAN tem como principais características técnicas o custo baixo dos dispositivos, baixa transmissão de dados, comunicação de longa distância, sobretudo para áreas abertas, e baixo consumo de energia (Wang e Abraham, 2017). A Figura 22 apresenta os quatro pilares que sustentam o uso deste tipo de tecnologia.

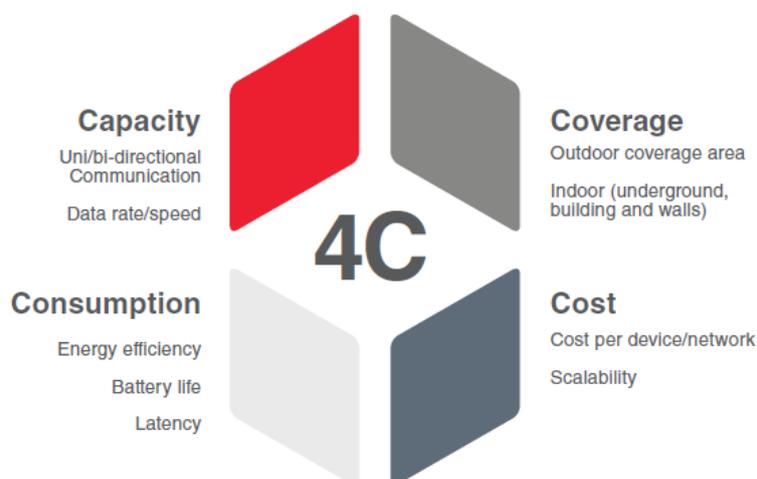


Figura 22 – Os quatro pilares da tecnologia LPWAN.

FONTE: Frost & Sullivan (2017).

O pilar de **Capacidade** se refere a taxa de dados ou taxa de transferência diárias em *bytes*. Alta capacidade pode ser associada a indústrias e aplicações que trabalhem com até 50% de informações que precisam ser monitoradas. No caso de baixa capacidade esse número se limita até 20%. O **Consumo** detém o tempo da vida útil da bateria de acordo com o *case* que esteja sendo aplicado. Uma bateria pode ter uma duração de no mínimo 3 e no

máximo 10 anos. Destaca-se como variáveis que interferem diretamente no consumo a latência que é inversamente proporcional a vida da bateria. A **Cobertura** pode ser categorizada como *indoor* e/ou *outdoor*, dependendo do contexto onde será realizada a implementação. Alta cobertura inclui longo alcance para a área externa e para a área interna como espaços subterrâneos, estacionamentos ou dentro de construções onde há presença de obstáculos e interferência. Por fim, e provavelmente o mais importante em termos de tomada de decisão, tem-se o **Custo**. Este parâmetro determina o quão significativo será a introdução dessa tecnologia e o conseqüente impacto no local onde for aplicada. Dentre os custos LPWAN possíveis, destacam-se o módulo e infraestrutura de rede (Frost & Sullivan, 2017).

Diversas tecnologias LPWAN estão disponíveis no mercado com determinadas características apropriadas ao case no qual se deseja adotar. A Figura 23 (dentro do retângulo azul) demonstra algumas das mais conhecidas relacionando o seu potencial de acordo com a velocidade de transferência de dados e com a distância máxima que pode ser alcançada (normalmente considerada em ambiente *outdoor*).

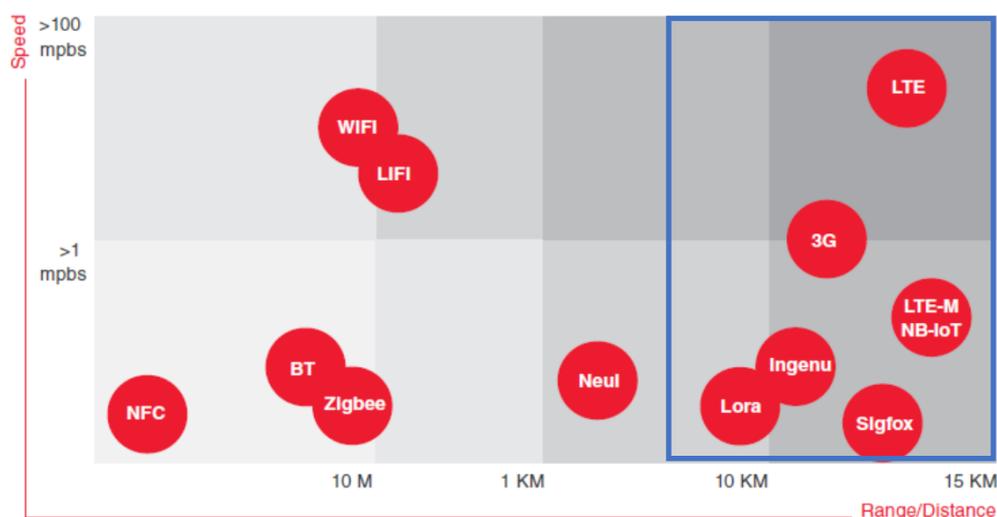


Figura 23 – Soluções de conectividade sem fio – Matriz de comparação.

FONTE: Frost & Sullivan (2017).

Aproximadamente 90% das conexões IoT atuais do tipo WAN (*Wide Area Network*) incluem Ethernet e Wi-Fi, além de coberturas consideradas mais pontuais como RFID, Bluetooth e ZigBee dentro de uma distância curta. Coberturas de longa distância podem ser utilizadas através de tecnologias

celular (e.g. 3G, 4G, etc) conectando dispositivos IoT numa rede específica. No entanto, isso se depara com um custo de implementação e de manutenção muito elevados dependendo das condições de infraestrutura de cada país. LPWAN é um tipo de tecnologia de comunicação sem fio responsável por conectar diferentes tipos de dispositivos com foco em eficiência energética e longa distância. Globalmente, tem se tornado uma preferência de grandes empresas devido ao custo dos dispositivos ser muito baixo, do consumo de energia reduzido e da aplicabilidade ser robusta podendo atender áreas abertas ou fechadas com uma performance superior as tradicionais redes celulares. O desenvolvimento das tecnologias LPWAN se deu no início de 2011 quando a SigFox iniciou os seus primeiros estudos e experimentos e lançou no ano seguinte sua solução no mercado. Desde então, tem surgido inúmeras empresas que tem tornado a tecnologia cada vez mais escalável, flexível e eficiente. Destacam-se LoRa, LTE e NB-IoT com essas características.

No case aplicado na França foi utilizada a tecnologia LoRa sem nenhum tipo de estudo preliminar, somente com testes a nível de Prova de Conceito que foram sendo realizados para fins de avaliar a funcionalidade técnica em ambiente *indoor* e *outdoor*. O contexto em questão se trata do monitoramento de embalagens que contém cabeçotes de motores. A perda das mesmas estava se tornando cada vez maior pela mesma razão já exposta em parágrafos anteriores. Após uma fase de experimentos, desenvolveu-se, ainda em caráter inicial, uma arquitetura para rastrear as embalagens conforme apresentada na Figura 24.

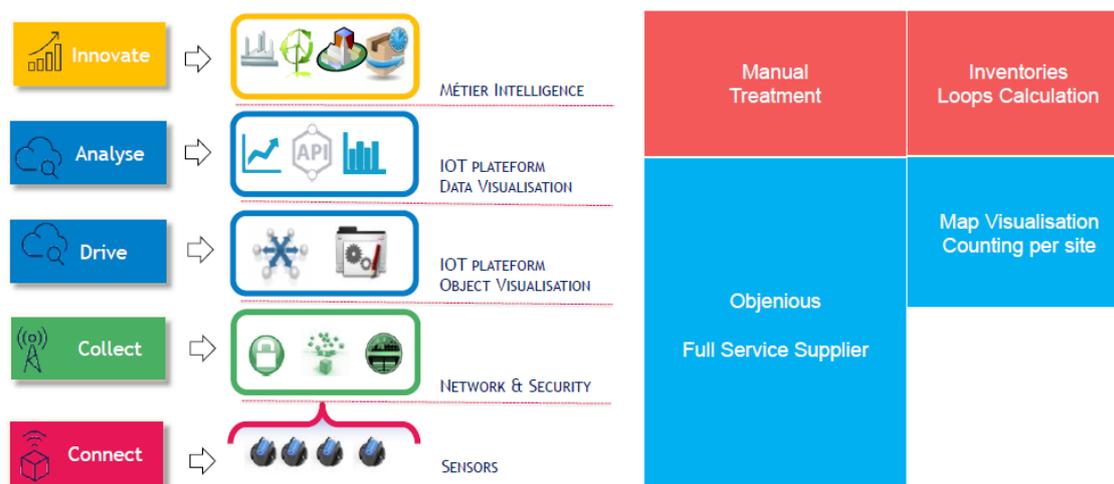


Figura 24 – Arquitetura inicial para a PoC na França.

FONTE: MULTINACIONAL AUTOMOTIVA (2017).

As cinco camadas presentes (*Connect*, *Collect*, *Drive*, *Analyze* e *Innovate*) foram elaboradas em conjunto com a equipe técnica da multinacional francesa e uma empresa também francesa do ramo de soluções IoT denominada Objenious (Objenious, 2018). A camada (1) *Connect* refere-se aos sensores que serão instalados nas embalagens afim de capturar as informações mais pertinentes. A camada (2) *Collect* trata do envio das informações para a Nuvem através de protocolos de comunicação pertinentes ao case em questão. A camada (3) *Drive* contém a plataforma IoT que está sendo utilizada (neste caso a da Objenious). A camada (4) *Analyze* menciona o tratamento dos dados que foram coletados possibilitando que se verifique todos os elementos em tempo real através de gráficos e histórico. Por fim, tem-se a camada (5) *Innovate* que se refere a capacidade de se fazer previsões e usar determinadas informações para suportar as tomadas de decisão para membros da área de logística.

Como se trata de dados confidenciais e de certa forma sigilosos, optou-se por alocar tais informações em servidores internos da organização. Dessa forma, a comunicação tornou-se mais complexa e robusta em relação a ideia original, necessitando que ambas as interfaces fossem interoperáveis para não resultar em um desempenho abaixo do recomendável quando a solução estivesse funcional. Com base nessa arquitetura, a primeira PoC de Rastreabilidade da companhia foi desenvolvida e executada no ano de 2017. Um dos facilitadores para tal foi a questão envolvendo a infraestrutura dos

países europeus. Muitas dos *racks* que eram monitorados se movimentavam para diferentes países, o que necessitaria de uma rede celular que permitisse que o acompanhamento se desse de forma mais eficaz. As companhias que fornecem esse serviço na Europa já estão num estágio bem avançado nessa temática, diferente da situação do Brasil. Sendo assim, o modelo que se deseja inserir no país não poderá ser similar ao adotado na França. Alguns requisitos precisarão ser melhor trabalhados diante de uma realidade local aquém da recomendada. Dessa forma fomenta-se a necessidade de um estudo detalhado sobre o PoC para antecipar determinadas demandas técnicas a serem adotadas e mensurar as barreiras que causarão maior impacto na execução do experimento.

### 5.2.1 Metodologia de Concepção

Com o objetivo de definir quais são as melhores tecnologias para se implementar para o case de Rastreabilidade de Embalagens, foi elaborado uma metodologia de forma que se obtivesse os dados mais consistentes para que o resultado fosse satisfatório. A Figura 25 esboça essa ideia dando destaque para os dois *frameworks* conceituais (RAMI 4.0 e FEI), devidamente contextualizados em capítulos anteriores, e o modelo no qual se deseja avaliar na pesquisa (RDPM I4.0).

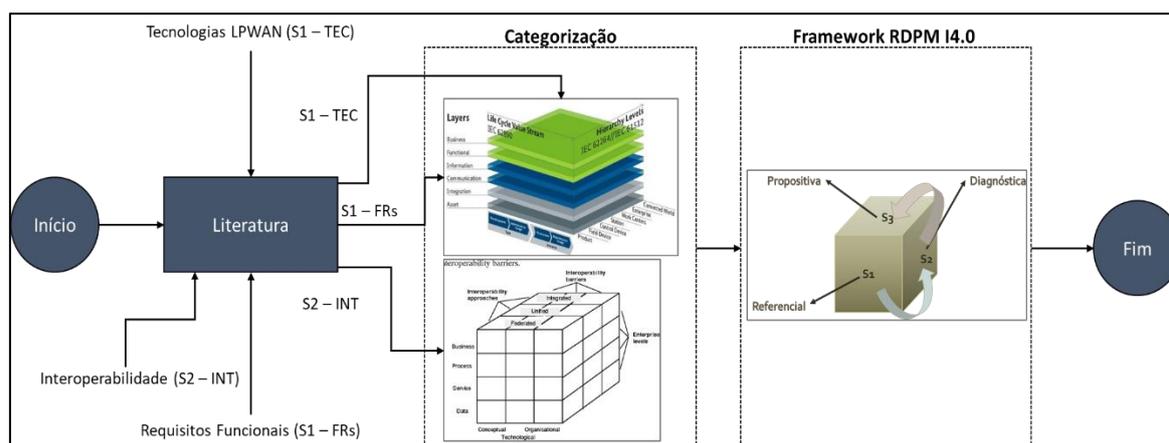


Figura 25 – Fluxo processual da pesquisa realizada.

FONTES: O AUTOR.

A primeira etapa, representada pelo retângulo denominado “Literatura”, detém o levantamento das informações de referência sobre a PoC que já foram abordadas por distintos atores e poderão ser usadas para a concepção da

iniciativa de inovação. O objetivo é encontrar quais são os requisitos funcionais (FRs) que irão compor a Face S1 do *framework* RDPM I4.0. Da mesma forma se determina quais são as possíveis tecnologias LPWAN aplicáveis. Nesse caso se encontra quaisquer tipos de elementos técnicos que poderão ser utilizados, mesmo que isso seja determinado subjetivamente, afim de elencar todos os dispositivos, protocolos, redes, características complementares ou outros detalhes específicos que corroborem com a análise. Por fim, se obtém todos as indicações que remetam a interoperabilidade, desde a parte mais técnica até critérios de gestão. Após a aquisição de tais elementos, será necessário categorizá-las afim de coloca-las no formato proposto pelas camadas do modelo RAMI 4.0 (*Business, Functional, Information, Communication, Integration e Assets*). Na camada de *Assets* todos os componentes mais físicos estarão presentes. Na camada de *Integration* estarão contidos os tipos existentes de integração de forma que se leve os dados físicos para um Servidor/Nuvem. A camada de *Communication* detém os tipos de protocolos mais usados para carregar determinadas informações com a finalidade de inseri-las no lugar correto com as devidas características pré-estabelecidas. Na camada de *Information*, serão tratados os tipos de dados armazenados e as ferramentas necessárias para realizar as customizações mais cabíveis a PoC. Em *Functional*, tem-se as plataformas IoT que serão utilizadas para agrupamento dos elementos coletados assim como a devida interação com o usuário final. Finalmente, na camada de *Business* estarão presentes todos os critérios que suportam a tomada de decisão com um viés mais estratégico do que técnico. Atributos como custos, regulamentações, qualidade do serviço, entre outros farão parte da avaliação. Esta categorização vale para as tecnologias LPWAN obtidas e os requisitos funcionais encontrados. Para a interoperabilidade, o modelo utilizado será o FEI cujas classificações serão: *Business, Process, Service e Data*. Todas são subdivididas em Organizacionais, Tecnológicas e Conceituais. No caso de *Business*, todos os elementos que remetam a interoperabilidade estratégica serão elencados. A camada de *Process* abordará mais barreiras características do processo logístico. Em *Services*, será mencionado os tipos possíveis de impedimentos quanto a serviços para execução e monitoramento da PoC. Por

fim, em *Data* tem-se as barreiras voltadas a aquisição, análise e infraestrutura de transferência das informações mandatórias.

Após a devida classificação dos critérios identificados, parte-se a avaliação através do *framework* RDPM I4.0. Na Face S1 será construída o quadro relacional entre os requisitos funcionais e tecnologias aplicáveis afim de se obter o modelo referencial. Todos os subsídios utilizados são oriundos da literatura. Na Face S2 serão relacionadas as barreiras de interoperabilidade com os requisitos funcionais de forma a resultar na avaliação diagnóstica da empresa para com as características fundamentais que compõem a PoC de Rastreabilidade de Embalagens. Com base nos valores adquiridos na Face S2, elabora-se a Face S3 relacionando as barreiras de interoperabilidade com as tecnológicas previamente levantadas e analisadas na Face S1. Como resultado, se terá a escolha dos recursos técnicos mais adaptáveis para a realidade atual da organização visto a sua maturidade constituída na Face S2.

### 5.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO REFERENCIAL (S1)

O modelo referencial do *framework* RDPM I4.0 envolve na Face S1 o relacionamento dos requisitos funcionais e das tecnologias aplicáveis ao case em questão. De forma a encontrar tais elementos foi realizado uma pesquisa por artigos que tratassem do tema seguindo uma abordagem a nível de Prova de Conceito. As bases de dados pesquisadas foram *Scopus*, *Science Direct*, *Research Gate* e *Google Scholar*. Não foram obtidos muito artigos, conforme já era esperado, por ser uma temática recente e que vem sendo explorada na literatura desde 2015. No entanto, dos poucos materiais encontrados, deu para se ter uma boa noção dos elementos considerados cruciais para constituição do experimento. Dos 20 artigos encontrados que envolvem as respectivas *keywords*: *LPWAN Technologies*, *Traceability*, *Packaging*, *Proof of Concept* e *Industry 4.0*, somente 5 detinham os critérios mais característicos com a pesquisa. Dessa forma, elencou-se os elementos mais significativos de cada *paper* em uma planilha de forma a separar os requisitos funcionais e demais tecnologias citadas ao longo do texto. Sendo assim, a seção 5.3.1 vai explicar como esse levantamento foi devidamente categorizado e os resultados obtidos de forma a construir o quadro relacional para cada camada do RAMI 4.0. Na

sequência, tem-se na seção 5.3.2 e 5.3.3 os requisitos funcionais e as tecnologias aplicáveis adquiridas, respectivamente. Por fim, na seção 5.3.4 apresenta-se o resultado do quadro relacional contendo os dados oriundos dos métodos AHP e Promethee.

### 5.3.1 Dados Levantados da Literatura

Com base na leitura dos artigos coletados, desenvolveu-se uma tabela que contém os principais elementos que suportam a pesquisa e permitisse que a análise das informações fosse realizada de forma mais consistente. A Tabela 22 apresenta a estrutura montada com quatro grupos denominados “*Paper*”, “Geral” e “Pilares do RAMI 4.0”. Na coluna “*Paper*” tem-se quatro subníveis que estão relacionados com as principais características do artigo como título, autor e o ano que o mesmo foi publicado. A coluna “Geral” possui os dados mais genéricos sobre os protocolos M2M e LPWAN. É uma forma de auxiliar a compreensão do conceito separando ambas as definições. De forma que se coletasse os dados que se encaixassem dentro das seis camadas do modelo RAMI 4.0, criou-se uma coluna chamada “Original” (contendo o texto extraído do artigo em inglês), “Tradução” (contendo o texto extraído do artigo em português) e “Referências” (contendo as referências nos trechos que foram retirados do *paper*).

Paper				Geral						Pilares do RAMI 4.0																	
Nº	Título	Autor	Ano	Conteúdo						Assets			Integration			Communication			Information			Functional			Business		
				M2M/IoT			LPWAN/LPWA			Orig.	Trad.	Ref.	Orig.	Trad.	Ref.	Orig.	Trad.	Ref.	Orig.	Trad.	Ref.	Orig.	Trad.	Ref.	Orig.	Trad.	Ref.
				Orig.	Trad.	Ref.	Orig.	Trad.	Ref.																		
1																											
2																											
3																											
4																											
5																											

Tabela 22 – Categorização de dados coletados dos artigos.

FONTE: O AUTOR.

Paper			Geral		Pilares do RAMI 4.0				
Título	Autor	Ano	Conteúdo		Assets		Communication		
			M2M/IoT		Original	Tradução	Original	Tradução	Referência
			Original	Tradução					
A Survey of Enabling Technologies of Low Power and Long Range Machine-to-Machine Communications	Wang and Abraham	2017	(1) Moreover, for the M2M-enabled intelligent transportation systems application, the mobility of vehicles requires wide area network (WAN) connection.	(1) Além disso, para a aplicação de sistemas de transporte inteligentes, com o habilitador tecnológico M2M, a mobilidade dos veículos necessita de conexão de longa distância (WAN).	(1) Besides <b>energy efficiency, scalability</b> is also important for low power and long range M2M communication solutions. For the LPWA solutions, <b>spread spectrum</b> can be used to demodulate multiple signals simultaneously.  (2) Deployment consideration of the surveyed M2M communication solutions: <b>Range, Frequency, Data Rate, Latency, TCP/IP Support, Private Network Support and Suitable Applications.</b>  (3) Solutions defined: <b>LECIM based LPWA prototype, RPMA from INGENU, Sigfox, LoRaWAN, IEEE 802.11ah, LTE-M and NB-IoT.</b>	(1) Além da <b>eficiência energética, a escalabilidade</b> também é importante para as soluções M2M de baixa potência e de longo alcance. Para o caso das tecnologias LPWA, o <b>espectro de espalhamento</b> pode ser usado para demodular vários sinais ao mesmo tempo.  (2) Considerando o survey desenvolvido pelo autor do artigo: <b>Faixa, Frequência, Taxa de Dados, Latência, Suporte TCP/IP, Suporte a Rede Privada e Aplicações Adequadas.</b>  (3) Soluções definidas: <b>LECIM baseado em LPWA, RPMA da INGENU, Sigfox, LoRaWAN, IEEE 802.11ah, LTE-M e NB-IoT.</b>	(1) Uplink (UL) traffic dominated; (2) Bursty traffic due to the event-driven wireless sensor networks (WSN); (3) Varying traffic loads; (4) Varying quality of service (QoS) characteristics (e.g., traffic of wireless devices having different delay and through put requirements).	(1) Tráfego de Uplink (UL) dominado; (2) Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN); (3) Cargas de tráfegos variáveis; (4) Variação das características de qualidade de serviço (QoS).	[1] F. Ghavimi and H.-H. Chen, "M2M communications in 3GPP LTE/LTEA networks: Architectures, service requirements, challenges, and applications," IEEE Commun. Surveys Tuts., vol. 17, no. 2, pp. 525–549, 2nd Quart., 2015. [2] E. Soltanmohammadi, K. Ghavami, and M. Naraghi-Pour, "A survey of traffic issues in machine-to-machine communications over LTE," IEEE Internet Things J., vol. 3, no. 6, pp. 865–884, Dec. 2016. [3] T.-C. Chang, C.-H. Lin, K. C.-J. Lin, and W.-T. Chen, "Load-balanced sensor grouping for IEEE 802.11ah networks," in Proc. IEEE Glob. Commun. Conf. (GLOBECOM), San Diego, CA, USA, 2015, pp. 1–6. [4] R. Liu, W. Wu, H. Zhu, and D. Yang, "M2M-oriented QoS categorization in cellular network," in Proc. 7th Int. Conf. Wireless Commun. Netw. Mobile Comput. (WiCOM), Wuhan, China, 2011, pp. 1–5.

Tabela 23 – Coleta de dados do *Paper* 01.

FONTE: O AUTOR.

Isso se deve pelo fato de ajudar a filtrar os critérios mais relevantes que serão considerados na análise para compor a primeira superfície do *framework* RDPM I4.0.

A Tabela 23 apresenta a coleta de informações realizadas para o *Paper* 01. Ela ficou mais resumida em relação as outras, por isso será tomada como exemplo para demonstrar como foram levantados tais critérios. As demais tabelas serão exibidas no final do relatório, em Anexos, devido a extensão que dificultou a adaptação no documento. O primeiro artigo refere-se a uma revisão de literatura sobre o tema M2M onde foi abordado pelos autores as tecnologias e protocolos LPWAN. Sendo assim, somente a coluna M2M/IoT foi preenchida. As palavras destacadas em negrito são os requisitos funcionais que foram previamente considerados. Eles aparecem nos grupos *Assets* e *Communication*. Com base nos elementos reunidos desse artigo, eles são os que mais se identificam com a definição da PoC e com o conceito dos *layers* do RAMI 4.0. Para o grupo *Assets*, as sentenças retiradas do artigo não contêm nenhuma referência externa, ou seja, as que os autores utilizaram para corroborar com as suas afirmações. Nesse caso a coluna de nome Referências, frisada na Tabela 23, foi removida. No entanto, para o grupo *Communication* quatro novas referências foram obtidas com base nas informações selecionadas.

Dessa forma, com os dados oriundos da revisão de literatura avaliou-se a relevância de cada *keyword* de forma que se encontrasse os requisitos funcionais e as tecnologias a serem aplicadas em cada camada do RAMI 4.0. Essa análise mais apurada será demonstrada em detalhes na seção 5.3.2.

### **5.3.2 Definição dos Requisitos Funcionais**

Com bases nas informações coletadas dos artigos, desenvolveu-se a Tabela 24 para a camada de *Assets*. Na coluna “Palavras-Chave” tem-se os principais critérios obtidos em determinados trechos de cada artigo específico. Nesse caso ainda não foi feito nenhum tipo de filtro com os demais dados coletados, somente descrito os elementos existentes. Na coluna “Tecnologias”, tem-se a classificação das palavras encontradas de forma que componham uma hierarquia mais voltada a parte técnica. Por exemplo, a coluna “Baixo Alcance” contém as redes IoT com características pertencentes a esse grupo.

Nesse caso são quatro: WiFi, ZigBee, NFC e BLE. De forma análoga, a categorização é feita para as tecnologias de “Longo Alcance” e para os componentes que foram utilizados nos experimentos descritos nos *papers*. Isso representa apenas a classificação dos itens. Não significa afirmar que todas as tecnologias inseridas na coluna serão instrumentos usados no estudo. Algumas delas serão desconsideradas devido a sua concepção ser muito específica. No entanto, esse detalhamento será abordado de forma mais precisa na seção 5.3.3. A coluna “Relações Diretas” representa os atributos que obtiveram um encaixe mais pertinente diante dos elementos relatados. Por exemplo, no atributo Escalabilidade, seguindo como referência as descrições conceituais mencionadas ao longo dos artigos, foi possível elencar quatro critérios que detêm maior destaque para a Prova de Conceito. São eles: Capacidade Total da Rede, Suporte TCP/IP, Suporte a Rede Privada e Aplicações Adequadas. De forma similar a classificação dos demais itens foi realizada tendo a lista, já com a hierarquia composta, entre os atributos e critérios de *Assets*. Por fim, a última coluna denominada “Não Considerado” contém as palavras chave que não foi possível relacionar com base nos atributos existentes. A principal razão para isso é que os dados, apesar de terem uma pertinência considerável ao case em questão, são muito específicos e envolvidos diretamente com os estudos de caso mencionados nos artigos. Para o contexto da PoC eles não teriam um fundamento de importância significativo para o suporte a tomada de decisão.

De forma similar as Tabelas 25, 26, 27, 28 e 29, que representam as demais camadas do modelo RAMI 4.0, seguem a mesma analogia de estudo citada anteriormente. Tais informações serão utilizadas para compor a análise no *framework* RDPM I4.0 nas três superfícies tridimensionais existentes. Os dados serão trabalhados com o uso dos métodos de suporte a tomada de decisão (MCDM/A) de forma que se possa determinar qual a tecnologia mais pertinente a realidade da empresa para cada *layer* que define a Prova de Conceito (PoC) que está sendo implementada na organização.

Paper			Assets		
Nº	Título	Palavras-Chave	Tecnologias	Relações Diretas	Não Considerado
1	A Survey of Enabling Technologies of Low Power and Long Range Machine-to-Machine Communications	(1) Eficiência Energética; (2) Escalabilidade; (3) Espectro de Espalhamento; (4) Faixa; (5) Frequência; (6) Taxa de Dados; (7) Latência; (8) Suporte TCP/IP; (9) Suporte a Rede Privada; (10) Aplicações Adequadas; (11) LECIM baseado em LPWA; (12) RPMA da INGENU; (13) Sigfox; (14) LoraWAN; (15) IEEE 802.11ah; (16) LTE-M; (17) NB-IoT.	(1) Baixo Alcance: (1.1) WiFi; (1.2) ZigBee; (1.3) NFC; (1.4) BLE. (2) Longo Alcance: (2.1) LECIM; (2.2) RPMA; (2.3) Sigfox; (2.4) LoraWAN; (2.5) IEEE 802.11ah; (2.6) LTE-M; (2.7) NB-IoT. (3) Componentes: (3.1) Microcontrolador CC2650; (3.2) Rádio 2.4 GHz IEEE 802.15.04; (3.3) Rádio Bluetooth Low Energy (BLE); (3.4) Semtech SX1276 LoRa.	(1) Eficiência Energética: (1.1) Maximizar a vida útil dos dispositivos. (2) Escalabilidade: (2.1) Capacidade total da rede; (2.2) Suporte TCP/IP; (2.3) Suporte a Rede Privada; (2.4) Aplicações Adequadas. (3) Latência: (3.1) Baixa latência. (4) Faixa: (4.1) Seleção de canal; (5) Frequência: (5.1) Chaveamento de frequência; (6) Processamento e Comunicação: (6.1) Taxa de Dados; (6.2) Atribuições de emparelhamento entre dispositivos e gateway;	(1) Classificação Dispositivos LoRaWAN: (1.1) Classe A; (1.2) Classe B; (1.3) Classe C; (1.4) Camada física com base nas modulações LoRa; (2) Espectro de Espalhamento; (3) Segurança: (3.1) Chaves de criptografia para payloads de aplicações e tráfego de rede.
2	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	(1) Camada física com base nas modulações LoRa; (2) Chaveamento de frequência; (3) Maximizar a vida útil dos dispositivos; (4) Capacidade total da rede.			
3	Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	(1) Sigfox; (2) LoRa; (3) Ingenu.			
4	Survey of Platforms for Massive IoT	(1) WiFi; (2) ZigBee; (3) NFC; (4) BLE; (5) LTE; (6) LoRa; (7) Sigfox; (8) NB-IoT.			
5	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	(1) Chaves de criptografia para payloads de aplicações e tráfego de rede; (2) Atribuições de emparelhamento entre dispositivos e gateway; (3) Seleção de canal; (4) Energia; (5) Taxa de dados; (6) Baixa Latência; (7) Classe A; (8) Classe B; (9) Classe C; (10) Baixa latência; (11) Hardware LoRaBug; (12) Processamento e Comunicação; (13) Microcontrolador CC2650; (14) Texas Instruments (MCU); (15) Rádio 2.4 GHz IEEE 802.15.04; (16) Rádio Bluetooth Low Energy (BLE); (17) Semtech SX1276 LoRa.			

Tabela 24 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada *Assets*.

FONTE: O AUTOR.

Paper			Integration			
Nº	Título	Palavras-Chave	Tecnologias	Relações Diretas	Não Considerado	
1	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	(1) Controle de acesso médio (ALOHA); (1.1) Operação eficiente; (1.2) Pacotes transmitidos propensos a colisões. (2) Comparação entre diferentes métodos de integração: (2.1) Acesso 3GPP; (2.2) Acesso não 3Gpp; (2.3) Integração eNodeB; (2.4) Virtual in core. (3) Critérios: (3.1) Interface de Comunicação e Efeitos de Tráfego; (3.2) Mecanismos de Segurança; (3.3) Instância de Gerenciamento de Recursos; (3.4) Requisitos de Hardware e Software; (3.5) Suporte em Produtos Comerciais Atuais; (3.6) Complexidade de Implementação; (3.7) Complexidade de Desenvolvimento (3.8) Escalabilidade; (3.9) Qualidade de Serviço (QoS). (4) Comunicação: (4.1) Faixa: (4.1.1) 868 MHz. (5) Tipo de conexão: (5.1) Conexão IP; (6) Configurações de rede: (6.1) Ativação over-the-air (OTAA); (6.2) Ativação por personalização.	(1) Comparação entre diferentes métodos de integração: (1.1) Acesso 3GPP; (1.2) Acesso não 3Gpp; (1.3) Integração eNodeB; (1.4) Virtual in core.	(1) Controle de acesso médio (ALOHA); (1.1) Operação eficiente; (1.2) Pacotes transmitidos propensos a colisões. (2) Critérios: (2.1) Interface de Comunicação e Efeitos de Tráfego; (2.2) Mecanismos de Segurança; (2.3) Instância de Gerenciamento de Recursos; (2.4) Requisitos de Hardware e Software; (2.5) Suporte em Produtos Comerciais Atuais; (2.6) Complexidade de Implementação; (2.7) Complexidade de Desenvolvimento (2.8) Escalabilidade; (2.9) Qualidade de Serviço (QoS). (3) Comunicação: (3.1) Faixa: (3.1.1) 868 MHz. (4) Topologia estrela: (4.1) Alta escalabilidade; (4.2) Controlabilidade. (5) Interface REST: (5.1) Fácil gerenciamento de dispositivos; (5.2) Acesso a dados históricos eficientemente.	(1) Tipo de conexão: (1.1) Conexão IP; (1.2) WiFi; (1.3) Ethernet. (2) Componentes: (2.1) Raspberry Pi3; (2.2) Rádio definido por software RTL; (2.3) Rádio GPS. (3) Configurações de rede: (3.1) Ativação over-the-air (OTAA); (3.2) Ativação por personalização.	
2	Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	(1) Topologia estrela: (1.1) Alta escalabilidade; (1.2) Controlabilidade.				
3	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	(1) Interface REST: (1.1) Fácil gerenciamento de dispositivos; (1.2) Acesso a dados históricos eficientemente. (2) Raspberry Pi3; (3) WiFi; (4) Ethernet; (5) Rádio definido por software RTL; (6) Rádio GPS.				

Tabela 25 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

Paper		Communication			
Nº	Título	Palavras-Chave	Tecnologias	Relações Diretas	Não Considerado
1	A Survey of Enabling Technologies of Low Power and Long Range Machine-to-Machine Communications	(1) Tráfego de Uplink (UL) dominado; (2) Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN); (3) Cargas de tráfegos variáveis; (4) Variação das características de qualidade de serviço (QoS).	(1) Protocolos: (1.1) CoAP: (1.1.1) Consumo de energia; (1.1.2) Tempo de resposta. (1.2) MQTT: (1.2.1) Elementos: (1.2.1.1) Assinante; (1.2.1.2) Editor; (1.2.1.3) Corretor (Broker); (1.2.1.4) Assinatura Leve. (1.2.2) Segurança: (1.2.2.1) SSL; (1.2.2.1) TLS. (1.3) Lightweight M2M; (1.4) DTLS; (1.5) Interfaces: (1.5.1) Bootstrapping; (1.5.2) Armazenamento; (1.5.3) Gerenciamento de Serviços; (1.5.4) Relatório de Serviços. (1.6) HTTP; (1.7) TCP/IP.	(1) Características de uma comunicação M2M: (1.1) Tráfego de Uplink (UL) dominado; (1.2) Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN); (1.3) Cargas de tráfego variáveis; (1.4) Variação das características de qualidade de serviço (QoS).	(1) Conexões IP; (2) Redes: (2.1) 5GTN: (2.1.1) Nó evoluído B (eNodeB); (2.1.2) Conexão S1 com várias redes centrais; (2.2) Rede OpenChirp; (3) LoRaWAN: (3.1) Topologia de rede tipo estrela; (3.2) Suporta comunicações bidirecionais seguras. (4) Plataforma IoT: (4.1) ThingWorx;
2	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	(1) Topologia de rede tipo estrela; (2) Suporta comunicações bidirecionais seguras; (3) Conexões IP; (4) 5GTN; (5) Nó evoluído B (eNodeB); (6) Conexão S1 com várias redes centrais; (7) ThingWorx; (8) Protocolo MQTT: (8.1) Assinatura Leve.	(1) Protocolos: (1.1) CoAP: (1.1.1) Consumo de energia; (1.1.2) Tempo de resposta. (1.2) MQTT: (1.2.1) Elementos: (1.2.1.1) Assinante; (1.2.1.2) Editor; (1.2.1.3) Corretor (Broker); (1.2.1.4) Assinatura Leve. (1.2.2) Segurança: (1.2.2.1) SSL; (1.2.2.1) TLS. (1.3) Lightweight M2M; (1.4) DTLS; (1.5) Interfaces: (1.5.1) Bootstrapping; (1.5.2) Armazenamento; (1.5.3) Gerenciamento de Serviços; (1.5.4) Relatório de Serviços. (1.6) HTTP; (1.7) TCP/IP.	(1) Características de uma comunicação M2M: (1.1) Tráfego de Uplink (UL) dominado; (1.2) Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN); (1.3) Cargas de tráfego variáveis; (1.4) Variação das características de qualidade de serviço (QoS).	(1) Conexões IP; (2) Redes: (2.1) 5GTN: (2.1.1) Nó evoluído B (eNodeB); (2.1.2) Conexão S1 com várias redes centrais; (2.2) Rede OpenChirp; (3) LoRaWAN: (3.1) Topologia de rede tipo estrela; (3.2) Suporta comunicações bidirecionais seguras. (4) Plataforma IoT: (4.1) ThingWorx;
3	Survey of Platforms for Massive IoT	(1) Protocolos: (1.1) CoAP: (1.1.1) Consumo de energia; (1.1.2) Tempo de resposta. (1.2) MQTT: (1.2.1) Elementos: (1.2.1.1) Assinante; (1.2.1.2) Editor; (1.2.1.3) Corretor (Broker). (1.2.2) Segurança: (1.2.2.1) SSL; (1.2.2.1) TLS. (1.3) Lightweight M2M; (1.4) DTLS; (1.5) Interfaces: (1.5.1) Bootstrapping; (1.5.2) Armazenamento; (1.5.3) Gerenciamento de Serviços; (1.5.4) Relatório de Serviços. (1.6) HTTP; (1.7) TCP/IP.	(1) Protocolos: (1.1) CoAP: (1.1.1) Consumo de energia; (1.1.2) Tempo de resposta. (1.2) MQTT: (1.2.1) Elementos: (1.2.1.1) Assinante; (1.2.1.2) Editor; (1.2.1.3) Corretor (Broker). (1.2.2) Segurança: (1.2.2.1) SSL; (1.2.2.1) TLS. (1.3) Lightweight M2M; (1.4) DTLS; (1.5) Interfaces: (1.5.1) Bootstrapping; (1.5.2) Armazenamento; (1.5.3) Gerenciamento de Serviços; (1.5.4) Relatório de Serviços. (1.6) HTTP; (1.7) TCP/IP.	(1) Características de uma comunicação M2M: (1.1) Tráfego de Uplink (UL) dominado; (1.2) Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN); (1.3) Cargas de tráfego variáveis; (1.4) Variação das características de qualidade de serviço (QoS).	(1) Conexões IP; (2) Redes: (2.1) 5GTN: (2.1.1) Nó evoluído B (eNodeB); (2.1.2) Conexão S1 com várias redes centrais; (2.2) Rede OpenChirp; (3) LoRaWAN: (3.1) Topologia de rede tipo estrela; (3.2) Suporta comunicações bidirecionais seguras. (4) Plataforma IoT: (4.1) ThingWorx;
4	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	(1) Rede OpenChirp; (2) MQTT.	(1) Protocolos: (1.1) CoAP: (1.1.1) Consumo de energia; (1.1.2) Tempo de resposta. (1.2) MQTT: (1.2.1) Elementos: (1.2.1.1) Assinante; (1.2.1.2) Editor; (1.2.1.3) Corretor (Broker). (1.2.2) Segurança: (1.2.2.1) SSL; (1.2.2.1) TLS. (1.3) Lightweight M2M; (1.4) DTLS; (1.5) Interfaces: (1.5.1) Bootstrapping; (1.5.2) Armazenamento; (1.5.3) Gerenciamento de Serviços; (1.5.4) Relatório de Serviços. (1.6) HTTP; (1.7) TCP/IP.	(1) Características de uma comunicação M2M: (1.1) Tráfego de Uplink (UL) dominado; (1.2) Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN); (1.3) Cargas de tráfego variáveis; (1.4) Variação das características de qualidade de serviço (QoS).	(1) Conexões IP; (2) Redes: (2.1) 5GTN: (2.1.1) Nó evoluído B (eNodeB); (2.1.2) Conexão S1 com várias redes centrais; (2.2) Rede OpenChirp; (3) LoRaWAN: (3.1) Topologia de rede tipo estrela; (3.2) Suporta comunicações bidirecionais seguras. (4) Plataforma IoT: (4.1) ThingWorx;

Tabela 26 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

Paper		Information			
Nº	Título	Palavras-Chave	Tecnologias	Relações Diretas	Não Considerado
1	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	(1) Autenticação e autorização: (1.1) Serviço de assinante doméstico (HSS); (1.2) Gerenciamento de mobilidade (MME). (2) Manipulação e exibição: (2.1) Node-RED: (2.1.1) Permite conexão entre gateway e plataforma IoT.	(1) Manipulação e exibição: (1.1) Node-RED. (2) Camada de computação/Nuvem: (2.1) WebSockets: (2.1.1) JSON; (2.1.2) XML.	(1) Autenticação e autorização: (1.1) Serviço de assinante doméstico (HSS); (1.2) Gerenciamento de mobilidade (MME). (2) Manipulação e exibição: (2.1) Node-RED: (2.1.1) Permite conexão entre gateway e plataforma IoT. (3) Camada de computação/Nuvem: (3.1) WebSockets: (3.1.1) JSON; (3.1.2) XML. (4) Informação de sensores: (4.1) Tempo; (4.2) Status; (4.3) Localização. (5) Fluxo de dados compostos e armazenados. (6) Tipos de dados; (7) Formato: (7.1) Flexível.	
2	Survey of Platforms for Massive IoT	(1) Camada de computação/Nuvem: (1.1) WebSockets: (1.1.1) JSON; (1.1.2) XML. (2) Informação de sensores: (2.1) Tempo; (2.2) Status; (2.3) Localização. (3) Fluxo de dados compostos e armazenados.			
3	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	(1) Tipos de dados; (2) Formato flexível;			

Tabela 27 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada *Information*.

FONTE: O AUTOR.

Paper			Funcional		
Nº	Título	Palavras-Chave	Tecnologias	Relações Diretas	Não Considerado
1	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	(1) Servidor de rede LoRa; (2) Principais componentes da rede; (3) Plataforma de nuvem OpenStack; (4) Funcionalidades LoRaWAN: (4.1) Única instância virtual; (4.2) Várias instâncias virtuais. (5) Plataformas IoT: (5.1) Azure da Microsoft; (5.2) Thingworx da PTC; (5.3) AWS da Amazon; (5.4) AirVantage; (5.5) AppCelerator; (5.6) Bosch IoT Suite; (5.7) Carriots; (5.8) Ericsson Device Connection; (5.9) Eurotech Device Cloud; (5.10) EVRYTHNG; (5.11) Exosite; (5.12) IBM IoT; (5.13) Lelylan; (5.14) Intel IoT Platform; (5.15) Litmus Loop; (5.16) ParStream - IoT Analytics Platform; (5.17) PLAT.ONE; (5.18) Samsung ARTIK Cloud; (5.19) Temboo; (5.20) Xively - PaaS Enterprise IoT Platform.	(1) Plataformas IoT: (1.1) Azure da Microsoft; (1.2) Thingworx da PTC; (1.3) AWS da Amazon; (1.4) AirVantage; (1.5) AppCelerator; (1.6) Bosch IoT Suite; (1.7) Carriots; (1.8) Ericsson Device Connection; (1.9) Eurotech Device Cloud; (1.10) EVRYTHNG; (1.11) Exosite; (1.12) IBM IoT; (1.13) Lelylan; (1.14) Intel IoT Platform; (1.15) Litmus Loop; (1.16) ParStream - IoT Analytics Platform; (1.17) PLAT.ONE; (1.18) Samsung ARTIK Cloud; (1.19) Temboo; (1.20) Xively - PaaS Enterprise IoT Platform.	(1) Funcionalidades LoRaWAN: (1.1) Única instância virtual; (1.2) Várias instâncias virtuais. (1) Gerenciamento de serviços: (1.1) Controle de rede IoT: (1.1.1) Adicionar; (1.1.2) Movimentar; (1.1.3) Remover; (1.1.4) Alterar. (1.2) Eficiência no processo: (1.2.1) Métricas de desempenho: (1.2.1.1) Velocidade do veículo (ambiente outdoor); (1.2.1.2) Tamanho do pacote; (1.2.1.3) Distância até o gateway.	(1) Servidor de rede LoRa; (2) Principais componentes da rede; (3) Plataforma de nuvem OpenStack;
2	Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	(1) Métricas de desempenho: (1.1) Velocidade do veículo (ambiente outdoor); (1.2) Tamanho do pacote; (1.3) Distância até o gateway.			
3	Survey of Platforms for Massive IoT	(1) Gerenciamento de serviços: (1.1) Controle de rede IoT: (1.1.1) Adicionar; (1.1.2) Movimentar; (1.1.3) Remover; (1.1.4) Alterar. (1.2) Eficiência no processo.			

Tabela 28 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada *Funcional*.

FONTE: O AUTOR.

Paper			Business		
Nº	Título	Palavras-Chave	Tecnologias	Relações Diretas	Não Considerado
1	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	(1) Estrutura de implementação IoT: (1.1) Os dispositivos finais compatíveis com LoRaWAN; (1.2) Um(s) gateway(s) LoRaWAN; (1.3) Infraestrutura 5GTN; (1.4) Plataforma IoT na Nuvem: (1.4.1) Armazenamento; (1.4.2) Análise; (1.4.3) Visualização.	(1) Tecnologias LPWAN: (1.1) LoRaWAN: (1.1.1) Natureza aberta; (1.1.2) Flexibilidade de implementação. (1.2) Sigfox: (1.2.1) Semelhante as operadoras de celular; (1.2.2) Camada de rede proprietária. (1.3) LTE Cat-M1: (1.3.1) Propriedade de operadoras de celular; (1.3.2) Necessita de regulamentação; (1.3.3) Sujeito a contratos de serviço. (1.4) NB-IoT: (1.4.1) Gerenciamento por operadoras de celular; (1.4.2) Custos e regulamentações determinadas pelo acesso a rede.	(1) Estrutura de implementação IoT: (1.1) Os dispositivos finais compatíveis com LoRaWAN; (1.2) Um(s) gateway(s) LoRaWAN; (1.3) Infraestrutura 5GTN; (1.4) Plataforma IoT na Nuvem: (1.4.1) Armazenamento; (1.4.2) Análise; (1.4.3) Visualização. (2) Tecnologias LPWAN: (2.1) Eficiência em economia de energia: (2.1.1) Duração de bateria (aprox. 10 anos); (2.2) Custos: (2.2.1) Chip de rádio: (2.2.1.1) \$2 a operação anual. (2.2.2) Dispositivo: (2.2.2.1) \$1 (unidade) por ano. (2.3) Serviços: (2.3.1) Ausência de assinatura de serviço.	
2	Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	(1) Tecnologias LPWAN: (1.1) Eficiência em economia e energia: (1.1.1) Duração de bateria (aprox. 10 anos); (1.2) Custos: (1.2.1) Chip de rádio: (1.2.1.1) \$2 a operação anual. (1.2.2) Dispositivo: (1.2.2.1) \$1 (unidade) por ano. (1.3) Serviços: (1.3.1) Ausência de assinatura de serviço.	(1.3.1) Propriedade de operadoras de celular; (1.3.2) Necessita de regulamentação; (1.3.3) Sujeito a contratos de serviço. (1.4) NB-IoT: (1.4.1) Gerenciamento por operadoras de celular; (1.4.2) Custos e regulamentações determinadas pelo acesso a rede.	(2) Tecnologias LPWAN: (2.1) Eficiência em economia de energia: (2.1.1) Duração de bateria (aprox. 10 anos); (2.2) Custos: (2.2.1) Chip de rádio: (2.2.1.1) \$2 a operação anual. (2.2.2) Dispositivo: (2.2.2.1) \$1 (unidade) por ano. (2.3) Serviços: (2.3.1) Ausência de assinatura de serviço.	
3	Survey of Platforms for Massive IoT	(1) Segurança de plataformas IoT; (1.1) Autenticação; (1.2) Autorização; (1.3) Integridade de conteúdo; (1.4) Segurança dos dados; (1.5) Interoperabilidade entre componentes; (1.6) Avaliação de contexto.		(3) Segurança de plataformas IoT; (3.1) Autenticação; (3.2) Autorização; (3.3) Integridade de conteúdo; (3.4) Segurança dos dados; (3.5) Interoperabilidade entre componentes; (3.6) Avaliação de contexto.	
4	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	(1) Tecnologias LPWAN: (1.1) LoRaWAN: (1.1.1) Natureza aberta; (1.1.2) Flexibilidade de implementação. (1.2) Sigfox: (1.2.1) Semelhante as operadoras de celular; (1.2.2) Camada de rede proprietária. (1.3) LTE Cat-M1: (1.3.1) Propriedade de operadoras de celular; (1.3.2) Necessita de regulamentação; (1.3.3) Sujeito a contratos de serviço. (1.4) NB-IoT: (1.4.1) Gerenciamento por operadoras de celular; (1.4.2) Custos e regulamentações determinadas pelo acesso a rede.			

Tabela 29 – Requisitos funcionais e tecnologias da camada *Business*.

FONTE: O AUTOR.

Com o objetivo de esclarecer quais são os requisitos funcionais levantados na revisão de literatura realizada, foram definidos os conceitos com base nas informações presentes nos artigos coletados e através de outras referências que esses mesmos artigos traziam para salientar a importância desses elementos ao estudo proposto. Sendo assim, a Tabela 30 mostra as categorias aos quais os requisitos funcionais pertencem com suas respectivas definições e as devidas fontes que ajudam a sustentar a contextualização.

Atributos	Requisitos Funcionais	Definição	Fonte
Eficiência Energética	Maximizar a vida útil dos dispositivos	Condição básica para as funcionalidades da tecnologia LPWAN. Quanto menor a taxa de dados, maior será o tempo de vida útil da bateria dos dispositivos.	Rumana et al. (2017)
Escalabilidade	Capacidade total da rede	Quanto menor a taxa de dados emitida, maior será a capacidade da rede na comunicação com o Server.	Wang e Abraham (2017)
	Suporte TCP/IP	Conectividade estabelecida entre dispositivos/gateways e servidor.	
	Suporte a rede privada	Necessidade existente caso a empresa queira desenvolver a sua própria solução adaptando a sua realidade.	
	Aplicações adequadas	Ambiente onde será adotado determinada tecnologia. Dependendo do objetivo, deve-se seguir as recomendações técnicas mais pertinentes.	
Latência	Baixa Latência	Adaptação necessária para garantir a melhor performance das tecnologias LPWAN.	Dongare et al. (2017)
Faixa	Seleção de canal	Distância máxima entre dispositivos de forma que se categorize a tecnologia que mais atende ao case.	
Frequência	Chaveamento de frequência	Faixa de frequência onde a tecnologia atuará.	Rumana et al. (2017)
Processamento e comunicação	Taxa de dados	Fluxo de informações que será trafegada em um intervalo específico de tempo.	Dongare et al. (2017)
	Atribuições de emparelhamento entre dispositivos e gateway	Definições de emparelhamento muito utilizadas para tecnologias LPWAN, sobretudo LoRa.	

Tabela 30 – Definição dos requisitos funcionais de *Assets*.

FONTE: O AUTOR.

As Tabelas 31, 32, 33, 34 e 35 apresentam a definição dos requisitos funcionais obtidos para a camada de *Integration, Communication, Information, Functional e Business* com base nos artigos levantados mais identificados com o tema rastreabilidade de embalagens utilizando tecnologias IoT LPWAN.

Atributos	Requisitos Funcionais	Definição	Fonte
Controle de acesso médio (ALOHA)	Operação eficiente	Operacionalidade sendo executada de forma eficiente de maneira que se obtenha o baixo consumo de energia.	Rumana et al. (2017)
	Pacotes transmitidos propensos a colisões	Característica na qual os protocolos ALOHA atua para evitar quaisquer problemas técnicos.	
Critérios de integração	Interface de comunicação e efeitos de tráfego	Tipos de comunicação atuantes para garantir a performance adequada na troca de informações.	
	Mecanismos de segurança	Configurações de segurança mandatórias para a integração.	
	Instância de gerenciamento de recursos	Políticas necessárias na integração das tecnologias.	
	Requisitos de hardware e software	Características mandatórias que garantam uma integração eficiente.	
	Suporte em produtos comerciais atuais	Suporte ofertado pelo fabricante para a implementação dos protocolos de integração existentes.	
	Complexidade de implementação	Complexidade existente para implantação da tecnologia	
	Complexidade de desenvolvimento	Complexidade existente no desenvolvimento da tecnologia	
	Escalabilidade	Capacidade de expansão do protocolo de integração utilizado.	
Comunicação	Qualidade do serviço (QoS)	Critérios que abrangem a qualidade do serviço prestada.	
	Faixa	Frequência ideal de 868 MHz onde a tecnologia está sendo inserida.	
Topologia estrela	Alta escalabilidade	Os end nodes são conectados diretamente ao gateway e tem os seus dados enviados a um servidor na Nuvem. Dessa forma se adquire alta escalabilidade e controlabilidade.	Patel e Myounggyu (2017)
	Controlabilidade		
Interface REST	Fácil gerenciamento de dispositivos	Fornecer fácil gerenciamento de suas propriedades (localização, meta dados, funcionalidades, etc) assim como o acesso de dispositivos em série.	Dongare et al. (2017)
	Acesso a dados históricos eficientemente	Aplicações e serviços pode ser acessado em tempo real em determinado intervalo de tempo pré-estabelecido.	

Tabela 31 – Definição dos requisitos funcionais de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

Atributos	Requisitos Funcionais	Definição	Fonte
Características de Comunicação M2M	Tráfego de UpLink (UL) dominado	As redes LTE/LTE-A foram projetadas principalmente para lidar com comunicações H2H ( <i>Human-to-Human</i> ), onde a quantidade de tráfego Uplink (UL) é menor que o tráfego <i>downlink</i> (DL).	Ghavimi e Chen (2015)
	Tráfego intermitente	Para alguns aplicativos de monitoramento, o volume de tráfego aumenta drasticamente após a detecção de eventos.	Soltanmohammadi et al. (2016)
	Cargas de tráfego variáveis	Em determinados casos, a existência de canais heterogêneos se deve a carga de tráfego de diferentes grupos desequilibrada. A medida que a assimetria aumenta, o número de pequenos pacotes se eleva, resultando em maior contenção e redução da utilização do canal.	Chang et al. (2016)
	Variação de características de qualidade de serviços	Fornece uma maneira de garantir a experiência do assinante, enquanto o mecanismo QoS permite que a rede se apresente congestionada quando vários usuários tentam acessá-la ao mesmo tempo.	Yang et al. (2011)

Tabela 32 – Definição dos requisitos funcionais de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

Atributos	Requisitos Funcionais	Definição	Fonte
Autenticação e Autorização	Serviço de assinante doméstico (HSS)	O HSS é o banco de dados do usuário mestre que suporta entidades de rede IMS que detém chamadas e sessões.	Rumana et al. (2017)
	Gerenciamento de mobilidade (MME)	A entidade de gestão da mobilidade (MME) é a principal entidade de plano de controle na rede LTE.	Hawilo et al. (2014)
Manipulação e Exibição	Permite conexão entre <i>gateway</i> e plataforma IoT	Recurso de transferência de informações de forma otimizada muito comum no uso da linguagem Node-Red.	Rumana et al. (2017)
Informação de sensores	Tempo	Tempo considerando data e hora.	
	Status	Status da bateria do sensor.	
	Localização	Posição, em coordenadas, onde se encontra a embalagem.	Hejazi et al. (2018)
Fluxo de dados	Fluxo de dados compostos e armazenados	Dados de dispositivos IoT que são normalmente pequenos e transitam em alta velocidade.	
Tipo de dados	Tipo de dados	O tamanho para mensagens serializadas pré-registradas é muito menor do que se os mesmos dados forem enviados por pares.	
Formato	Flexível	As ferramentas de serialização existentes permitem um processamento e verificação estática limitada em dados serializados.	Dongare et al. (2017)

Tabela 33 – Definição dos requisitos funcionais de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

Atributos	Requisitos Funcionais	Definição	Fonte
Gerenciamento de serviços	Controle de rede IoT	O controle de rede IoT necessita de uma plataforma que possui as características determinantes para o processo.	Hejazi et al. (2018)
Plataformas IoT	Eficiência do processo	O gerenciamento infere diretamente no desempenho da plataforma IoT escolhida.	Ericsson (2014)
	Integração	Protocolo de integração existente.	Hejazi et al. (2018)
	Segurança	Protocolos de segurança possíveis de serem integrados.	
	Dispositivos de gerenciamento	Características que garantam o gerenciamento dos dispositivos.	
	Protocolos para coleta de informações	Protocolos de comunicação condizentes com a plataforma.	
	Suporte para visualização Tipos de <i>analytics</i>	Suporte para visualização de dados em tempo real. Tipos de ferramentas de análise de dados compatíveis com a plataforma.	

Tabela 34 – Definição dos requisitos funcionais de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

Atributos	Requisitos Funcionais	Definição	Fonte
Tecnologias LPWAN	Custo da conectividade	Custos envolvidos no pacote de dados que está sendo transmitido.	Frost & Sullivan (2017)
	Custo do dispositivo	Custo dos dispositivos instalados nas embalagens.	
	Camada de rede proprietária	O gerenciamento da rede é feito pela operadora que está oferecendo o serviço.	Dongare et al. (2017)
	Flexibilidade de implementação	Adaptabilidade necessária para introdução da tecnologia no processo determinado.	
	Necessidade de regulamentação	Regras legais que precisam estar reguladas.	
	Open <i>Source</i>	Capacidade de manipulação da tecnologia de acordo com a necessidade.	
	Propriedade de operadora de celular	Rede de operadora celular que controla o serviço oferecido.	
	Sujeito a contratos de serviço	Contrato de serviço formalizado com uma operadora onde ela detém a operação da tecnologia.	

Tabela 35 – Definição dos requisitos funcionais de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

### 5.3.3 Definição das Tecnologias

São inúmeras as tecnologias que podem ser associadas ao *case* de Rastreabilidade de Embalagens. Para cada camada do RAMI 4.0 foram listadas as que possuem maior aderência ao escopo da PoC que está sendo trabalhada. Elas irão compor a análise da Face S1 onde será identificado qual a melhor tecnologia, sob o ponto de vista referencial, que mais é favorável de ser aplicada. Com base nessas informações, a empresa e os respectivos profissionais envolvidos na atividade já poderão ter uma noção mais consolidada de onde se atentar na visão mais técnica da implementação. Cada tecnologia possui determinadas particularidades que tendem a impedir a sua adoção por questões legais e de aplicabilidade no Brasil. Tais elementos serão abordados com mais propriedade na seção que trata das barreiras de interoperabilidade existentes internamente (companhia) e externamente (infraestrutura local). As Tabelas 36, 37, 38, 39 e 40 descrevem os recursos técnicos utilizados na avaliação para *Assets*, *Integration*, *Communication*, *Information* e *Functional*, respectivamente.

Algumas tecnologias já descritas em *Assets* serão utilizadas para a avaliação do *layer* de *Business*. São elas: LoRaWAN, SigFox, LTE-Cat M1 e NB-IoT. Sob o ponto de vista de *Business* serão analisados mais aspectos que estudam a viabilidade da aplicação com foco mais direcionado aos custos, questões legais, flexibilidade de adaptação da solução, entre outros itens que já foram brevemente relatados na seção anterior. Como se trata de uma camada de decisão com viés mais estratégico que atinge diretamente profissionais da área de gestão, o domínio técnico da tecnologia passa a não ser considerado como um diferencial, e sim outros pontos que impactam diretamente na escolha da melhor solução. A simples escolha das soluções citadas, modifica os recursos técnicos que serão determinados nas demais camadas devido as particularidades específicas das tecnologias que estão sendo abordadas.

Atributo	Tecnologias Aplicáveis	Definição	Fonte
Tecnologias de Longo Alcance	LECIIM	<i>Low Energy Critical Infrastructure Monitoring</i> , concebido com base no protocolo de rede LPWAN IEEE 802.15.4k, trabalha na faixa de 433 MHz e foi desenvolvido para permitir que um dispositivo se conecte com milhares de terminais localizados a longa distância (acima de 20km).	Xiong et al. (2015)
	RPMA	<i>Random Phase Multiple Access</i> foi a primeira solução LPWAN desenvolvida pela INGENU. Devido ao atraso aleatório e o espectro de propagação, o dispositivo pode usar o RPMA para desmodular simultaneamente milhares de dispositivos/links recebidos pelos componentes IoT.	INGENU (2017) Myers (2010)
	SigFox	A solução de camada proprietária proposta pela Sigfox utiliza a banda UNB ( <i>Ultrararrowband</i> ) para alcançar a alta sensibilidade. A largura de banda do sinal é de 100Hz e pode permitir a demodulação bem-sucedida do sinal recebido com uma sensibilidade de -142 dBm.	Margelis et al. (2015)
	LoRaWAN	A solução LoRaWAN é oferecida pela <i>Long Range (LoRa) Alliance</i> e opera em 433, 868 ou 915MHz com banda ISM e usa GFSK ou outros esquemas proprietários de modulação. Seu esquema proprietário é baseado em CSS ( <i>Chirp Spread Spectrum</i> ) que utiliza frequência linear com banda larga modulada cujo os pulsos aumentam ou diminuem conforme a informação codificada.	Margelis et al. (2015) Mikhaylov, et al. (2016)
	IEEE 802.11ah	É um protocolo de rede sem fio publicado em 2017 denominado WiFi HaLoW como uma emenda do padrão estabelecido em 2007. Usa bandas isentas de licença de 900Mhz para fornecer redes WiFi de longo alcance em comparação as tradicionais que operam entre 2.4 e 5Ghz.	IEEE 802.11 (2016)
	LTE-M	A comunicação M2M tem como base o padrão LTE fornecido pela 3GPP <i>Release-13</i> . Existem dois tipos de protocolos introduzidos na norma: (1) LTE de categoria M1 (LTE-M) que opera em um canal de 1.4MHz de largura de banda, e (2) NB-IoT ( <i>Narrow-IoT Band</i> ), também conhecido como Cat-NB1 ou Cat-M2 com canal de 180kHz de largura de banda.	Wang e Abraham (2017)
	NB-IoT		

Tabela 36 – Definição das tecnologias de *Assets*.

FONTE: O AUTOR.

Atributo	Tecnologias Aplicáveis	Definição	Fonte
Tecnologias de Integração	Acesso 3GPP	A 3GPP ( <i>3rd Generation Partnership Project</i> ) especificou o suporte de múltiplas tecnologias de acesso e transferência entre os acessos. O foco é possibilitar a convergência usando uma rede única que forneça vários serviços utilizando um IP para múltiplas tecnologias. Dividem-se em duas: (1) Redes de acesso por rádio 3GPP e, (2) Sem acesso 3GPP. Para as que possuem acesso, as especificações 3GPP definem como a execução é realizada entre um E-UTRAN (LTE ou LTE avançado), GERAN (rede de acesso através de rádio GSM/GPRS) e UTRAN (rede de acesso de rádio através de tecnologias UMTS WCDMA e HSPA). No caso das redes 3GPP sem acesso, elas normalmente são divididas em duas: Confiáveis e Não Confiáveis. As confiáveis podem interagir diretamente com o EPC ( <i>Evolved Packet Core</i> ). Já as não confiáveis, interagem com o EPC através de uma entidade de rede chamada ePDG ( <i>Evolved Packet Data Gateway</i> ). A principal função do ePDG é fornecer mecanismos de segurança.	Firmin (2018)
	Acesso não 3GPP		
	Integração eNodeB	<i>Evolved Node B (eNodeB)</i> é um elemento na E-UTRA pertencente a rede LTE. Ele é o hardware que está conectado à rede móvel que se comunica diretamente sem fio com os aparelhos celulares (EU), como uma estação transmissora (BTS) nas redes GSM.	Rumana et al. (2015)
	<i>Virtual in Core</i>	A virtualização de rede é uma tecnologia promissora para o futuro da arquitetura de rede e foi impulsionada pela indústria e pela comunidade científica nos últimos anos por fornecer flexibilidade, adaptabilidade e gerenciamento de futuras redes de comunicação.	Baumgartner et al. (2015)

Tabela 37 – Definição das tecnologias de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

Atributo	Tecnologias Aplicáveis	Definição	Fonte
Tecnologias de Comunicação	CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i> (CoAP) é um novo protocolo de comunicação que foi projetado explicitamente para hardwares IoT onde a inspiração é oriunda do protocolo HTTP ( <i>Hypertext Transfer Protocol</i> ) e utiliza comunicação um a um.	
	MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i> (MQTT) é um protocolo de mensagens implementado em TCP/IP para tornar a comunicação mais leve. Ele utiliza um <i>broker</i> para realiza a comunicação entre dispositivos. Sendo assim, não se caracteriza como uma interface entre máquinas. É composto por três elementos: assinante, editor e <i>broker</i> .	
	DTLS	<i>Datagram Transport Layer Security</i> (DTLS) é um protocolo de comunicação que fornece segurança para aplicativos baseados em datagrama, permitindo que se comuniquem de maneira projetada para que se evite espionagem, adulteração ou falsificação de mensagens. Tem como referência o protocolo TLS ( <i>Transport Layer Security</i> ) que se orienta por fluxo e tem a finalidade de fornecer as mesmas garantias de segurança.	Hejazi et al. (2018)
	HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> (HTTP) é um protocolo usado para informações distribuídas, colaborativas e de sistemas. Ele é caracterizado por ser genérico e que pode ser utilizado para muitas tarefas como hipertexto, nome e distribuição de objetos em servidores, métodos de solicitação, códigos de erro e cabeçalho.	
	TCP/IP	Faz parte de um conjunto de protocolos utilizados na internet e rede de computadores semelhantes. É a junção entre <i>Transmission Control Protocol</i> (TCP) e <i>Internet Protocol</i> (IP). Fornece uma comunicação de dados ponta a ponta, especificando como tais informações devem ser agrupadas, endereçadas, transmitidas, roteadas e recebidas. Essa funcionalidade é organizada em quatro camadas de abstração que classifica todos os protocolos relacionados de acordo com o escopo da rede envolvida.	

Tabela 38 – Definição das tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

Atributo	Tecnologias Aplicáveis	Definição	Fonte
Tecnologias de Informação	Node-RED	É um software de programação que combina diversos tipos de hardware, APIs e serviços online.	Node-RED (2018)
	JSON	É um formato leve de troca de dados. Tem como uma de suas características a fácil manipulação de leitura e escrita por parte do usuário. Além disso, é mais acessível para as máquinas analisarem e interagirem com a linguagem.	JSON (2018)
	XML	É definida como uma metalinguagem que permite com que os usuários definam suas próprias linguagens personalizadas, sobretudo para apresentar documentos na internet.	Hejazi et al. (2018)

Tabela 39 – Definição das tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

Atributo	Tecnologias Aplicáveis	Definição	Fonte
Plataformas IoT	Azure	O Microsoft Azure é uma plataforma destinada a execução de aplicativos e serviços, baseada nos conceitos da computação em nuvem.	Microsoft (2018)
	Thingworx	É uma plataforma de inovação industrial que foi projetada para fornecer aplicativos de IIoT e experiências de realidade aumentada (RA) que aproveitam o valor da convergência dos mundos físico e digital.	PTC (2018)
	AWS	<i>Amazon Web Services</i> (AWS) é uma plataforma de serviços de computação na nuvem que fornece os serviços oferecidos pela Amazon.	AWS (2018)
	AirVantage	Plataforma de serviços IoT da Sierra Wireless alocada na nuvem com distintos recursos para o ambiente industrial.	Sierra Wireless (2018)
	AppCelerator	É uma plataforma da Titanium que detém uma estrutura de código aberto que permite a criação de aplicativos móveis nativos em plataformas, incluindo iOS, Android e Windows UWP, a partir de uma única base de código Java Script.	Titanium (2018)
	Bosch IoT Suite	A plataforma fornece os recursos de middleware necessários para criar aplicativos IoT de diferentes formatos de cima para baixo.	Bosch (2018)
	Carriots	É uma plataforma como serviço desenvolvida para projetos de IoT. Coleta as informações necessárias, armazená-las e permite e construção de aplicativos com base nos dados coletados.	Altair (2018)
	Ericsson Device Connection	O Ericsson Device Connection Platform (DCP) é um serviço na nuvem que permite com que as operadoras ofereçam o gerenciamento de conectividade para seus clientes corporativos.	Ericsson (2018)
	Eurotech Device Cloud	Everyware IoT é o nome dado a plataforma integrada para Internet das Coisas que fornece gateways para as indústrias e uma infraestrutura da nuvem para conectar com dispositivos e aplicativos corporativos.	Eurotech (2018)
	EVRYTHNG	A plataforma possui os dados de identidade digital em uma nuvem com APIs IoT para conectar produtos de consumo Web com aplicações em tempo real.	EVRYTHNG (2018)
	Exosite	Exosite é uma plataforma IoT que permite que os fabricantes e provedores de serviços criem e integrem dispositivos conectados à Internet das Coisas.	Exosite (2018)
	IBM IoT	IBM Watson IoT Platform é uma nuvem que elenca características como a conexão e controle de sensores, dispositivos, residências e indústrias através de componentes de Internet das Coisas.	IBM (2018)
	Lelylan	É uma plataforma focada no desenvolvimento de soluções IoT com viés mais direcionado a desenvolvedores. Tem por sua concepção ser Open Source.	Lelylan (2018)
	Intel IoT Platform	Tem como base um modelo referencial de ponta a ponta que fornece um ambiente para a conexão de dispositivos, segurança e análise do valor dos dados.	Intel (2018)
	Litmus Loop	Tem aplicação mais voltada a dispositivos industriais. Possui integração com dados antigos e novos coletados de distintas fontes. Possui também integração com as ferramentas de <i>Analytics</i> em tempo real.	Litmus Automation (2018)
	ParStream - IoT Analytics Platform	Plataforma IoT da Cisco cuja as funcionalidades se assemelham com as demais. Recentemente, teve suas operações migradas para um outro ambiente da Cisco denominado Kinetic.	Cisco (2018)
	PLAT.ONE	Uma das primeiras plataformas IoT com integração com diferentes tipos de dispositivos. Em 2016, foi adquirida pela SAP integrando parte de suas funcionalidades ao SAP's Hana Cloud.	SAP (2018)
	Samsung ARTIK Cloud	Reúne os módulos de hardware e serviços em nuvem com segurança integrada e ferramentas para análise de dados.	Samsung (2018)
	Temboo	Detém um conjunto de ferramentas voltadas a Transformação Digital com viés de inovação em IoT, APIs e tecnologias emergentes.	Temboo (2018)
	Xively	É uma plataforma de IoT de propriedade do Google. Oferece formas de conexão de produtos, gerenciamento de dispositivos conectados e integração com sistemas já existentes nas empresas.	Xively (2018)

Tabela 40 – Definição das tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

### 5.3.4 Desenvolvimento do Quadro Relacional

De forma a se obter uma abordagem mais quantitativa e qualitativa que envolva os requisitos funcionais e as tecnologias aplicáveis para a PoC de Rastreabilidade de Embalagens, foi desenvolvido um modelo AHP que contém os aspectos de funcionalidade para cada camada do RAMI 4.0 cujo o objetivo foi levantar os pesos para cada elemento que constitui o experimento (tanto para as categorias quanto para os requisitos funcionais relatados). Na sequência, se relaciona os requisitos funcionais com as tecnologias pertinentes, utilizando o método Promethee, ao *layer* em questão de forma a obter a solução mais aderente com os elementos oriundos da literatura. Sendo assim, as seções 5.3.4.1, 5.3.4.2, 5.3.4.3, 5.3.4.4, 5.3.4.5 e 5.3.4.6 trarão os resultados obtidos para as camadas de *Assets*, *Integration*, *Communication*, *Information*, *Functional* e *Business*, respectivamente. A consequente análise dos dados encontrados também será fundamentada em cada seção.

#### 5.3.4.1 Camada de Dispositivos (*Assets*)

A Tabela 41 apresenta os dados obtidos através do modelo AHP para as características que complementam os *Assets*. Eles são resultantes das citações que a literatura fornece sobre o tema indicando quais são os itens considerados mais relevantes numa análise em torno dos requisitos que determinam o uso das tecnologias LPWAN. Dentre os que receberam a maior atenção destacam-se “Maximizar a Vida Útil dos Dispositivos” e “Taxa de Dados” presentes dentro dos atributos “Eficiência Energética” e “Processamento e Comunicação”, respectivamente. O primeiro recebeu um valor próximo de 33%. Isso se deve pelo fato de garantir que os dispositivos possam ter uma vida útil considerável diante de um tráfego de informações pequeno que atenda às necessidades da aplicação. Diante deste cenário, o consumo de bateria dos dispositivos é pequeno, podendo durar até 10 anos, o que alimenta a viabilidade do uso desse equipamento e consequente tecnologia. Dessa forma, “Taxa de Dados” deteve um peso de 12,5% porque está diretamente relacionado com o primeiro requisito descrito. O uso das

tecnologias LPWAN tem como foco a transferência de informações consideradas prioritárias. Para o estudo em questão, havia a necessidade de determinar a localização da embalagem, data e hora e consumo de bateria. Quando se tem uma quantidade de tráfego de dados elevada, passa-se a desconsiderar a aplicação como solução destes recursos tecnológicos. As Figuras 26 e 27 representam visualmente os dados contidos na Tabela 41.

Atributos	Pesos	Requisitos Funcionais	Pesos
Eficiência Energética	0,32736	Maximizar a vida útil dos dispositivos	0,32736
Escalabilidade	0,18829	Capacidade total da rede	0,02635
		Suporte TCP/IP	0,01521
		Suporte a rede privada	0,09782
		Aplicações adequadas	0,04891
Latência	0,09868	Baixa Latência	0,09868
Faixa	0,09868	Seleção de canal	0,09868
Frequência	0,09868	Chaveamento de frequência	0,09868
Processamento e comunicação	0,18829	Taxa de dados	0,12553
		Atribuições de emparelhamento entre dispositivos e gateway	0,06276

Tabela 41 – Pesos dos atributos e critérios de *Assets*.

FONTE: O AUTOR.

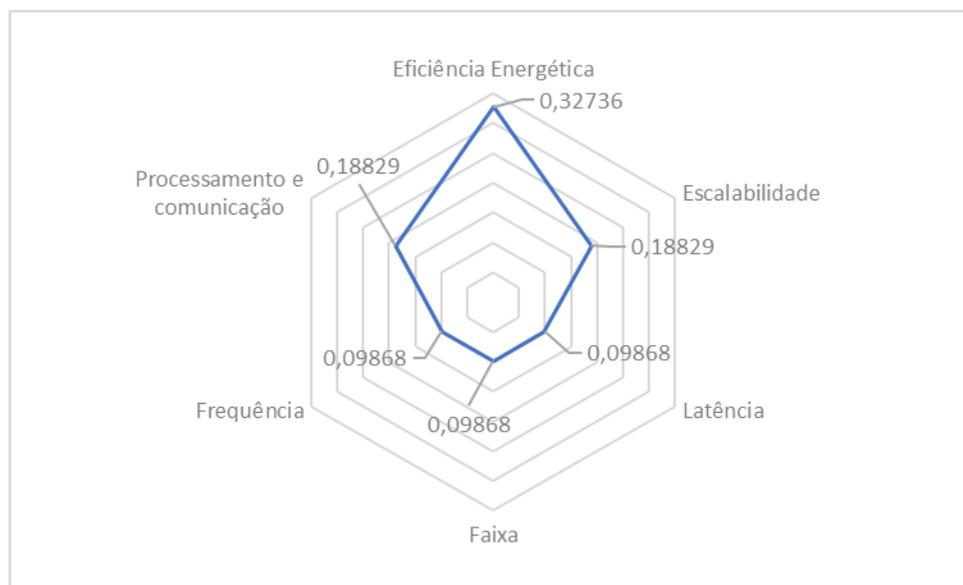


Figura 26 – Gráfico radar dos pesos dos atributos de *Assets*.

FONTE: O AUTOR.

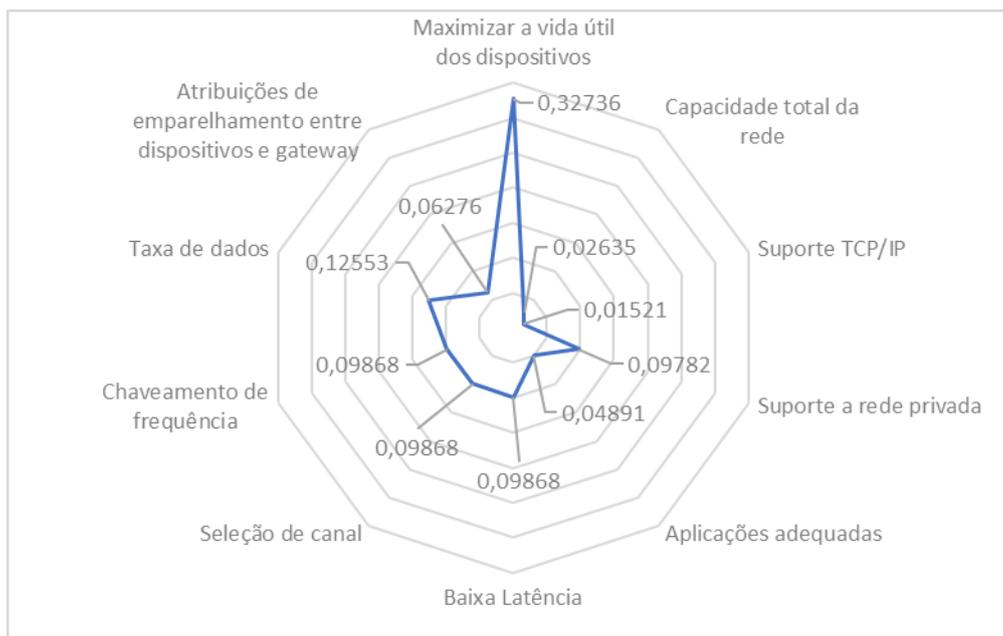


Figura 27 – Gráfico radar dos pesos dos requisitos funcionais de *Assets*.

FONTE: O AUTOR.

Após obter os pesos dos requisitos funcionais com o método AHP através do software *Super Decisions V2.8.0.0*, os mesmos elementos com seus respectivos valores foram inseridos no modelo constituído através do método Promethee no software *Visual Promethee V1.4.0.0*. Entrando com os devidos elementos encontrados na literatura, encontrou-se os valores de Phi demonstrados na Tabela 42. Numa análise preliminar das informações resultantes, verifica-se que a tecnologia aplicável que teve maior aderência aos requisitos funcionais foi “RPMA” com um valor de Phi de 0,2385. “RPMA” é uma tecnologia categorizada como celular, ou seja, oferecida como serviço por operadoras que detém o uso de redes celulares. Ela está em fase avançada de teste em países da Europa. No entanto, ainda não tem previsão para chegar ao Brasil. Destaca-se aqui um impedimento do uso de tal solução. Porém, na Face Referencial S1 todos os elementos devem ser listados, embora conhecendo que sua aplicabilidade não seja factível para o cenário de implementação atual da PoC. O mesmo fato ocorre com “LECIM” que também é uma tecnologia categorizada como celular que ainda não possui experimentos no Brasil. Das tecnologias habilitadoras apresentadas na Tabela 42, somente SigFox e LoRaWAN possuem cases de atuação em áreas como rastreabilidade de produtos/embalagens e monitoramento de energia em distintas indústrias no país. “IEEE 802.11ah” ainda é um protocolo em fase de estudos que tem sido

explorado para outros tipos de aplicações. Por fim, “LTE-M” e “NB-IoT” são redes celulares bem consolidadas no mercado americano e europeu que ainda possuem um custo elevado em comparação com “LoRaWAN” e “Sigfox”. Em termos de aplicabilidade, os seus serviços ainda não são oferecidos pelas operadoras do Brasil.

<b>Cálculo Phi</b>	Phi+	Phi-	Phi
<b>Tecnologias</b>			
LECIM	0,3140	0,1358	0,1782
RPMA	0,3311	0,0926	0,2385
SigFox	0,1507	0,2155	-0,0648
LoRaWAN	0,2113	0,1380	0,0732
IEEE 802.11ah	0,1759	0,1700	0,0059
LTE-M	0,1195	0,3333	-0,2138
NB-IoT	0,0673	0,2845	-0,2172

Tabela 42 – Valores de Phi das tecnologias de Assets.

FONTE: O AUTOR

A Figura 28 possui a representação gráfica dos valores de Phi-, Phi+ e Phi apresentados na Tabela 42. A Tabela 43 destaca os valores de Phi resultantes para cada requisito funcional de Assets avaliado. Alguns elementos estão grifados com a cor verde porque são os que tiveram o maior valor na análise para o respectivo critério. Em relação ao requisito “Capacidade Total de Rede” verifica-se que as tecnologias “LoRaWAN” e “Sigfox” tem uma melhor avaliação em relação as demais. Embora esse elemento não seja tão relevante para a PoC, ele poderá garantir uma maior escalabilidade caso a aplicação venha a se tornar um projeto com mais elementos externos que devem ser mensurados. Outro ponto que favorece a tecnologia “LoRaWAN” é o critério “Suporte a Rede Privada”. Diante da comparação com “SigFox”, uma das tecnologias mais acessíveis no país, ela prevalece devido a sua flexibilização de implementação permitindo que o usuário possa adequar o uso conforme a sua necessidade. Por fim, em relação aos critérios mais bem avaliados, em “Maximizar a vida útil dos dispositivos” todos tiveram a mesmo valor, e em “Taxa de Dados” destacou-se o protocolo IEEE 802.11ah. A Figura 29 representa graficamente as informações contidas na Tabela 43.

Requisitos Funcionais Tecnologias	Aplicações Adequadas	Capacidade total de rede	Suporte a rede privada	Suporte TCP/IP	Seleção de canal	Chaveamento de frequência	Baixa latência	Maximizar a vida útil dos dispositivos	Atribuições de emparelhamento entre gateway e dispositivos	Taxa de dados
LECIM	-0,3333	-0,0833	0,5000	0,1667	0,6667	-0,1612	0,8333	0,0000	0,1667	0,0000
RPMA	0,2500	-0,0833	0,5000	-1,0000	1,0000	0,3612	0,0000	0,0000	0,1667	0,3333
SigFox	0,2500	0,5000	-0,6667	0,1667	0,0000	-0,0667	0,0000	0,0000	0,6667	-0,5000
LoRaWAN	0,2500	0,5000	0,5000	0,1667	0,0000	-0,0667	0,0000	0,0000	1,0000	-0,5000
IEEE 802.11ah	-0,3333	-0,0833	0,5000	0,1667	-1,0000	-0,0667	0,0000	0,0000	-0,6667	1,0000
LTE-M	-0,3333	-0,6667	-0,6667	0,1667	-0,6667	0,0000	-0,8333	0,0000	-0,6667	0,6667
NB-IoT	0,2500	-0,0833	-0,6667	0,1667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,6667	-1,0000

Tabela 43 – Quadro relacional entre requisitos funcionais e tecnologias de Assets.

FONTE: O AUTOR.

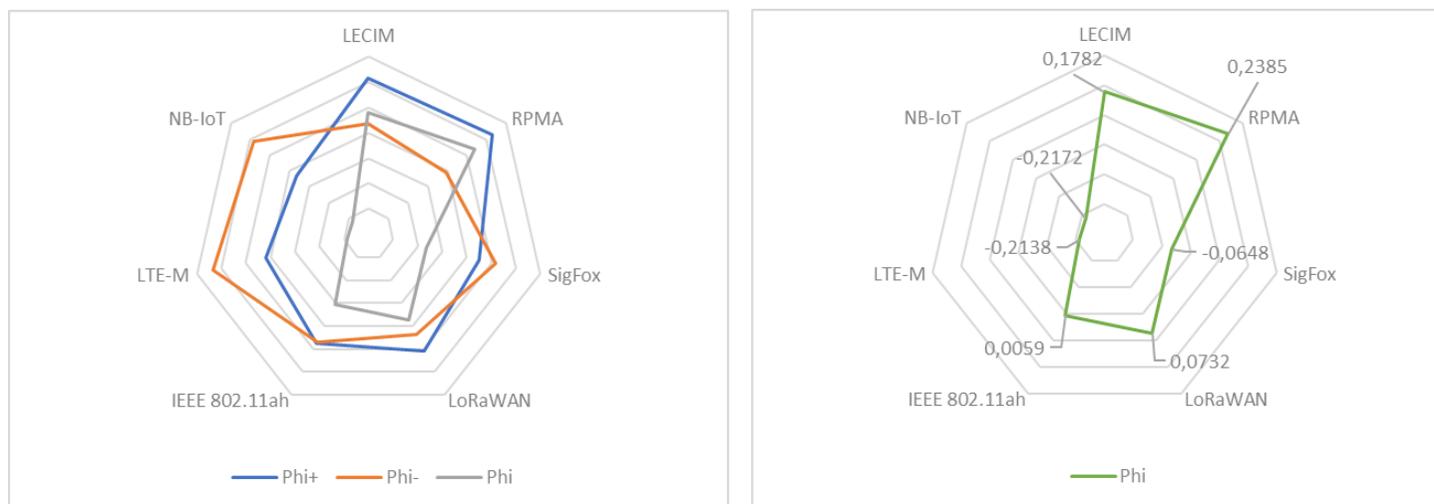


Figura 28 – Valores de Phi para tecnologias de Assets.

FONTE: O AUTOR.

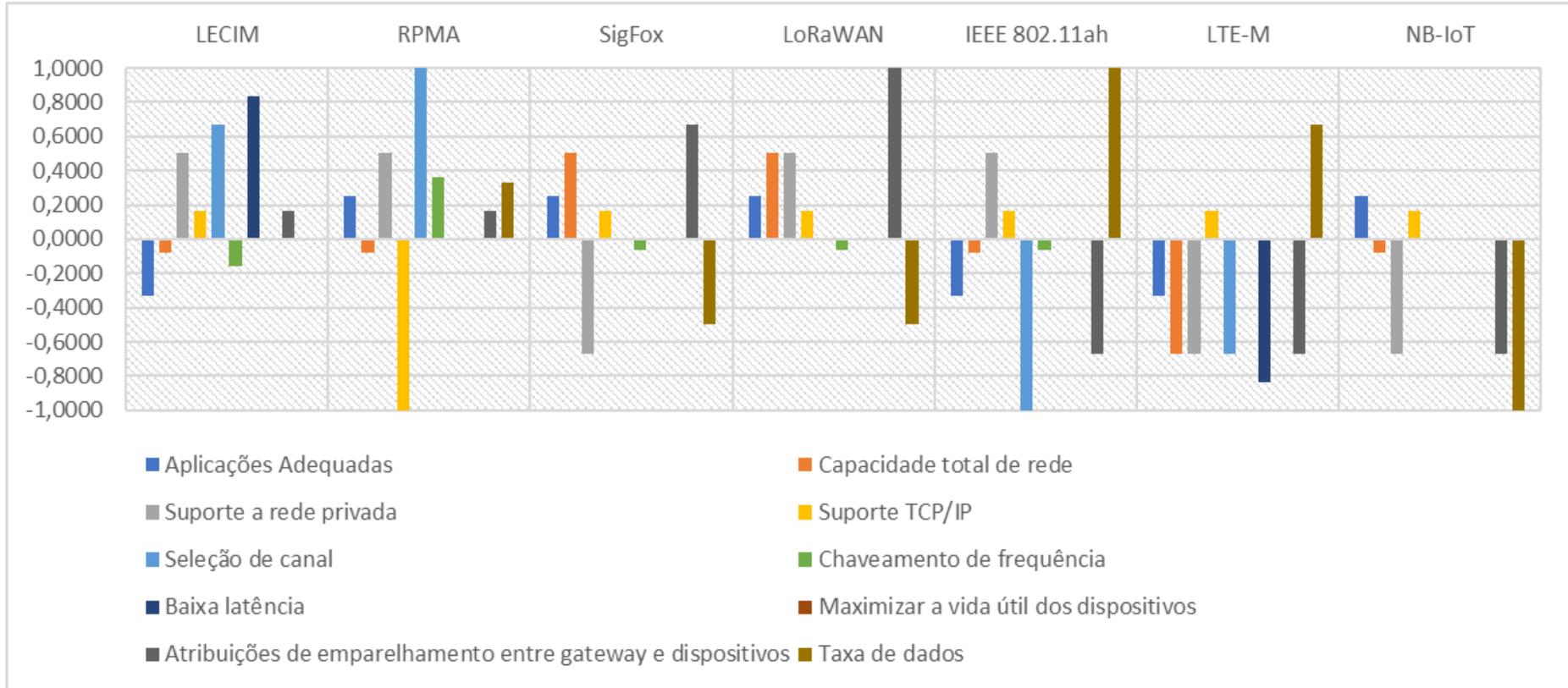


Figura 29 – Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de *Assets* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.3.4.2 Camada de Integração (*Integration*)

Com base nas informações coletadas na literatura, obteve-se os dados situados na Tabela 44. A camada de integração é responsável pelo procedimento de envio dos dados para uma interface superior, que pode ser um recurso na Nuvem. Existem duas categorias identificadas e que tem pertinência com o tipo de solução que está sendo abordada no estudo: “Interface REST” e “Critérios de Integração”. O requisito funcional que detém maior relevância, segundo os dados constados na Tabela 44, é “Acesso a dados históricos eficientemente” que apresentou um peso próximo a 28%. Apesar dos demais itens, em termos quantitativos, terem um valor inferior, é fundamental destacar a sua importância. Por exemplo, “Complexidade de Desenvolvimento”, “Complexidade de Implementação” e “Interface de Comunicação e “Efeitos de Tráfego” suportam o processo de implementação sendo que a ausência ou a não completude desses requisitos terá um impacto considerável na implementação da PoC. Outro critério pertinente é “Requisitos de *Hardware* e *Software*”. Para o case em questão, isso impacta na definição dos elementos que irão compor o *gateway* de captura de informações e o consequente encaminhamentos delas para o servidor. Este dispositivo precisa ser capaz de coletar os dados dos sensores em determinado local de forma eficaz para não prejudicar no armazenamento e análise dos elementos pertencentes ao processo.

Atributos	Pesos	Requisitos Funcionais	Pesos
Interface REST	0,33333	Acesso a dados históricos eficientemente	0,27778
		Fácil gerenciamento de dispositivos	0,05556
Critérios de Integração	0,66667	Complexidade de desenvolvimento	0,11135
		Complexidade de implementação	0,11135
		Escalabilidade	0,03656
		Instância de gerenciamento de recursos	0,02352
		Interface de comunicação e efeitos de tráfego	0,11135
		Mecanismos de segurança	0,06231
		Qualidade de Serviço (QoS)	0,06231
		Requisitos de hardware e software	0,11135
		Suporte em produtos comerciais atuais	0,03656

Tabela 44 – Pesos dos atributos e critérios de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

A representação gráfica dos valores da Tabela 44 estão presentes nas Figuras 30 e 31.

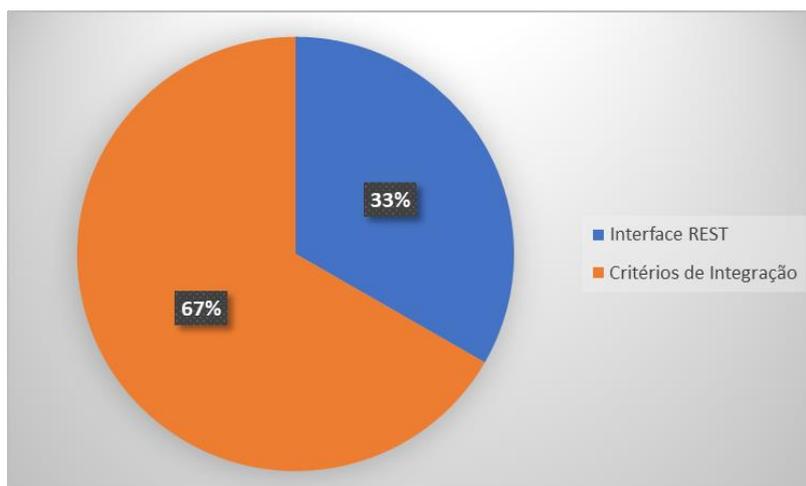


Figura 30 – Pesos dos atributos de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

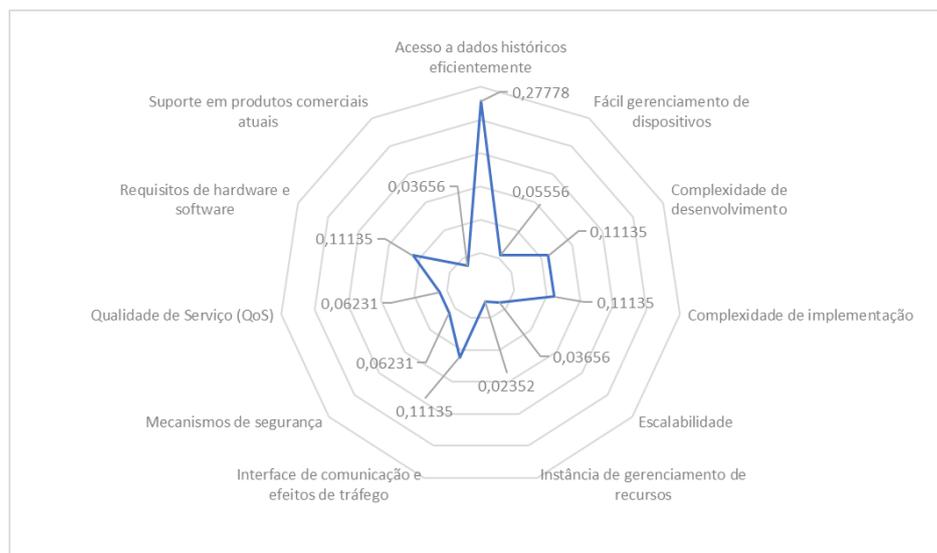


Figura 31 – Pesos dos critérios de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

Com a determinação dos pesos dos requisitos funcionais para *Integration* no AHP, a próxima etapa foi o desenvolvimento do modelo Promethee levando em consideração os dados coletados na literatura. Foram encontradas quatro tecnologias que são pertinentes aos recursos que suportam a camada de integração. São elas, “Acesso 3GPP”, “Acesso Não 3GPP”, “Integração eNodeB” e “*Virtual in Core*”. A Tabela 45 apresenta os resultados obtidos através dos valores de Phi. Segundo a avaliação realizada, o “Acesso 3GPP” é a solução mais apropriada a ser adotada na integração com as tecnologias IoT LPWAN. Na sequência, tem-se a “Integração eNodeB” quem tem sido muito utilizada em *cases* mais simples cujo foco é a comprovação de um conceito ou até mesmo um estudo preliminar. Esse é um ponto a ser considerado nas faces diagnóstica (S2) e propositiva (S3) do *framework* RDPM I4.0. A Figura 32 demonstra os valores de Phi, Phi+ e Phi-, relatados na Tabela 45, em um formato de gráfico radar.

<b>Cálculo Phi</b>	Phi+	Phi-	Phi
<b>Tecnologias</b>			
Acesso 3GPP	0,3095	0,0578	0,2517
Acesso não 3GPP	0,1088	0,3912	-0,2823
Integração eNodeB	0,2823	0,1224	0,1599
<i>Virtual In Core</i>	0,1327	0,2619	-0,1293

Tabela 45 – Valores de Phi das tecnologias de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 46 detém os valores de Phi resultantes para cada requisito funcional avaliado. Em destaque na cor verde tem-se os dados que tiveram a melhor ponderação com base nas informações extraídas de artigos que relacionavam IoT LPWAN e elementos de integração das informações capturadas. Verifica-se que o critério “Acesso a Dados Históricos Eficientemente”, que detém a maior peso entre os requisitos, obteve o mesmo valor de Phi para quase todas as tecnologias, excetuando “Acesso Não 3GPP”. Em relação aos outros critérios, tem-se “Escalabilidade” que foi bem atendido pelos recursos técnicos existentes, menos para “*Virtual in Core*”. O critério “Complexidade de Desenvolvimento” teve uma boa aceitação por parte da tecnologia “eNodeB” devido a sua facilidade de integração que tem tido um destaque considerável para os dispositivos IoT pertencentes a Indústria 4.0. Por fim, mas não menos importante, tem-se o critério de “Suporte em Produtos Comerciais Atuais” onde o “Acesso 3GPP” atende com maior propriedade. Dispositivos que necessitem de homologação e conseqüente adoção de elementos que envolvam aspectos de segurança tem necessitado de suporte até serem substituídos por outros equipamentos modernos. Para este caso, o “Acesso 3GPP” tem maior escalabilidade. A Figura 33 representa os valores de Phi graficamente.

Requisitos Funcionais	Escalabilidade	Complexibilidade de desenvolvimento	Instância de gerenciamento de recursos	Interface de comunicação e efeitos de tráfego	Mecanismos de segurança	Qualidade de Serviço (QoS)	Requisitos de hardware e software	Suporte em produtos comerciais atuais	Complexidade de implementação	Acesso a dados históricos eficientemente	Fácil gerenciamento de dispositivos
<b>Tecnologias</b>											
Acesso 3GPP	0,3333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,3333	0,0000
Acesso não 3GPP	0,3333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,3333	0,0000	-1,0000	0,0000
Integração eNodeB	0,3333	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	-0,3333	-1,0000	0,3333	0,0000
Virtual In Core	-1,0000	-1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-1,0000	0,0000	-0,3333	0,0000	0,3333	0,0000

Tabela 46 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de *Integration*.

FONTA: O AUTOR.



Figura 32 – Valores de Phi para tecnologias de *Integration*.

FONTA: O AUTOR.

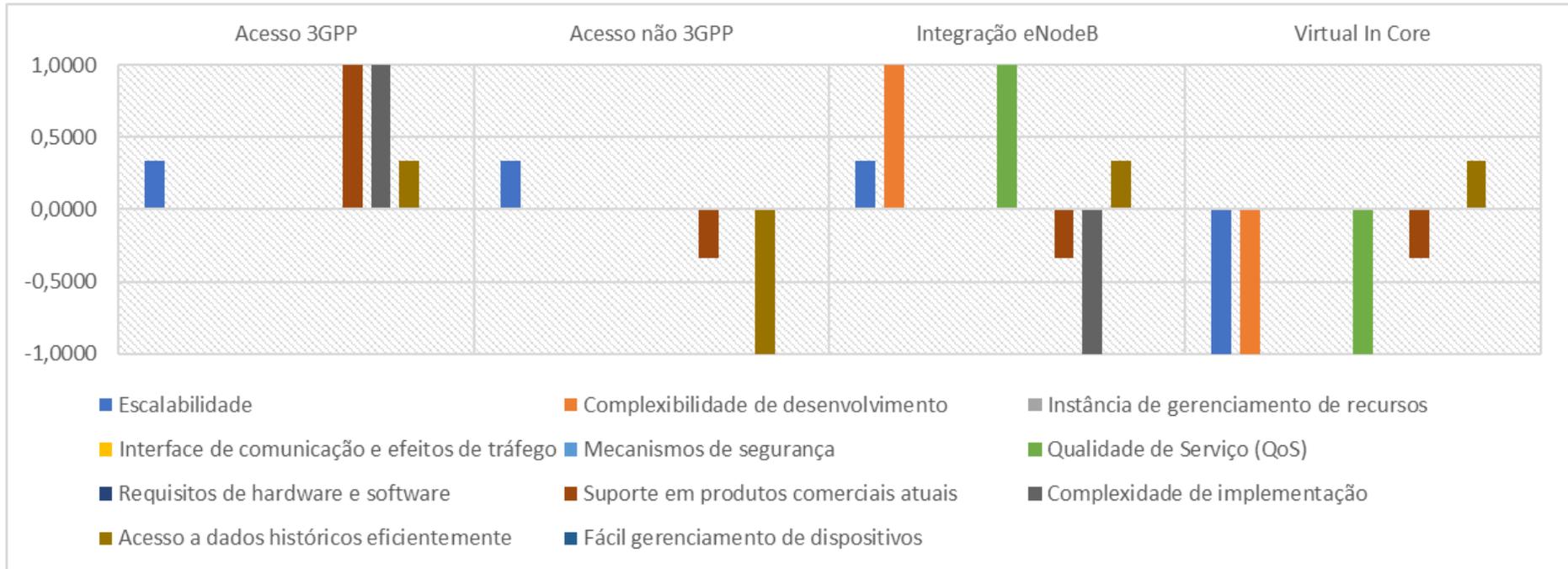


Figura 33 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de *Integration* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

### 5.3.4.3 Camada de Comunicação (*Communication*)

A camada de comunicação tem como função encaminhar os dados, com os devidos protocolos, para o servidor externo que se deseja optar. Duas categorias, que possuem o mesmo peso conforme destacado na Tabela 47, tem um nível de importância muito relevante para *Communication*. Com relação as “Características de Comunicação M2M”, onde as redes IoT LPWAN estão categorizadas, os requisitos funcionais “Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN)” e “Variação das características de qualidade de serviço (QoS)” detém a mesma ponderação devido a sua criticidade na implementação, sobretudo em larga escala. Considerando os critérios levantados para a categoria “Protocolos”, o “Consumo de Energia” e “Segurança” são os mais pertinentes. O primeiro tem forte relevância com o case de Rastreabilidade de Embalagens por enfatizar que o consumo de energia deve ser atendido para impedir que um dos pilares que viabilizam a PoC seja atendido. O segundo é um dos elementos mais questionados na Era Digital. Independente a extensão da aplicação, ele necessita ser considerado de ponta a ponta. Uma simples conexão com a Nuvem requer autorização por parte de profissionais de TI responsáveis pela definição dos critérios de segurança da organização. As Figuras 34 e 35 apresentam em formato gráfico os valores apresentados na Tabela 47.

Atributos	Pesos	Requisitos Funcionais	Pesos
Características Comunicação M2M	0,50000	Carga de tráfegos variáveis	0,08333
		Tráfego de uplink (UL) dominado	0,08333
		Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN)	0,16667
		Variação das características de qualidade de serviço (QoS)	0,16667
Protocolos	0,50000	Consumo de energia	0,16667
		Tempo de resposta	0,08333
		Elementos	0,04167
		Interfaces	0,04167
		Segurança	0,16667

Tabela 47 – Pesos dos atributos e critérios de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

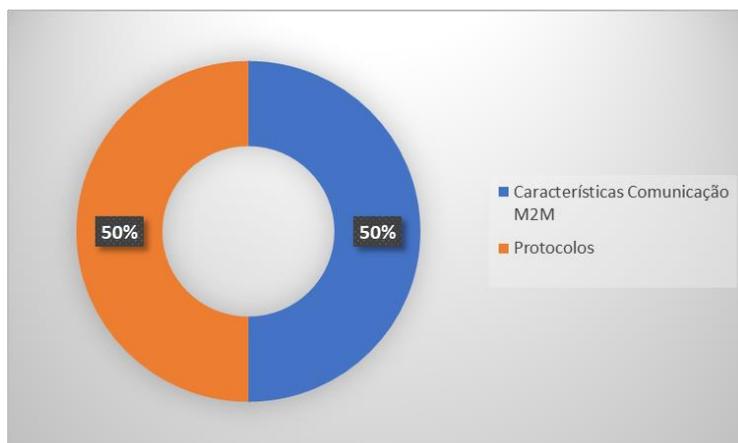


Figura 34 – Pesos dos atributos de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

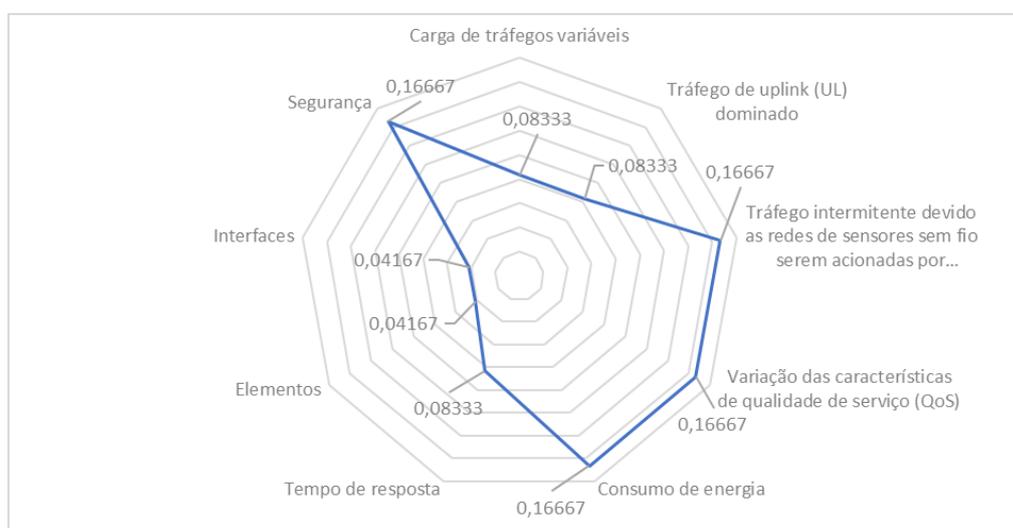


Figura 35 – Pesos dos critérios de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

Das tecnologias aplicáveis identificadas na literatura, destacam-se os cinco presentes na Tabela 48. Três delas (DTLS, HTTP, TCP/IP) possuem características mais antigas que não são tão aderentes para a Indústria 4.0, embora sirvam como base para o desenvolvimento de novos protocolos como o CoAP e o MQTT.

<u>Cálculo Phi</u>	Phi+	Phi-	Phi
<b>Tecnologias</b>			
CoAP	0,2675	0,0300	0,2375
<b>MQTT</b>	<b>0,3275</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,3275</b>
DTLS	0,0600	0,1950	-0,1350
HTTP	0,0600	0,2450	-0,1850
TCP/IP	0,0200	0,2650	-0,2450

Tabela 48 – Valores de Phi das tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

Requisitos Funcionais	Carga de Tráfego Variável	Tráfego de Uplink (UL) Dominado	Tráfego Intermitente (WSN)	Variação Características (QoS)	Consumo de Energia	Tempo de Resposta	Elementos	Interface	Segurança
<b>Tecnologias</b>									
CoAP	0,2500	0,5000	0,0000	0,0000	0,7500	0,5000	-0,2500	0,5000	0,0000
MQTT	0,2500	0,5000	0,0000	0,0000	0,7500	1,0000	1,0000	0,5000	0,0000
DTLS	0,2500	-0,7500	0,0000	0,0000	-0,5000	-0,2500	-0,2500	0,5000	0,0000
HTTP	-1,0000	0,5000	0,0000	0,0000	-0,5000	-0,2500	-0,2500	-0,7500	0,0000
TCP/IP	0,2500	-0,7500	0,0000	0,0000	-0,5000	-1,0000	-0,2500	-0,7500	0,0000

Tabela 49 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

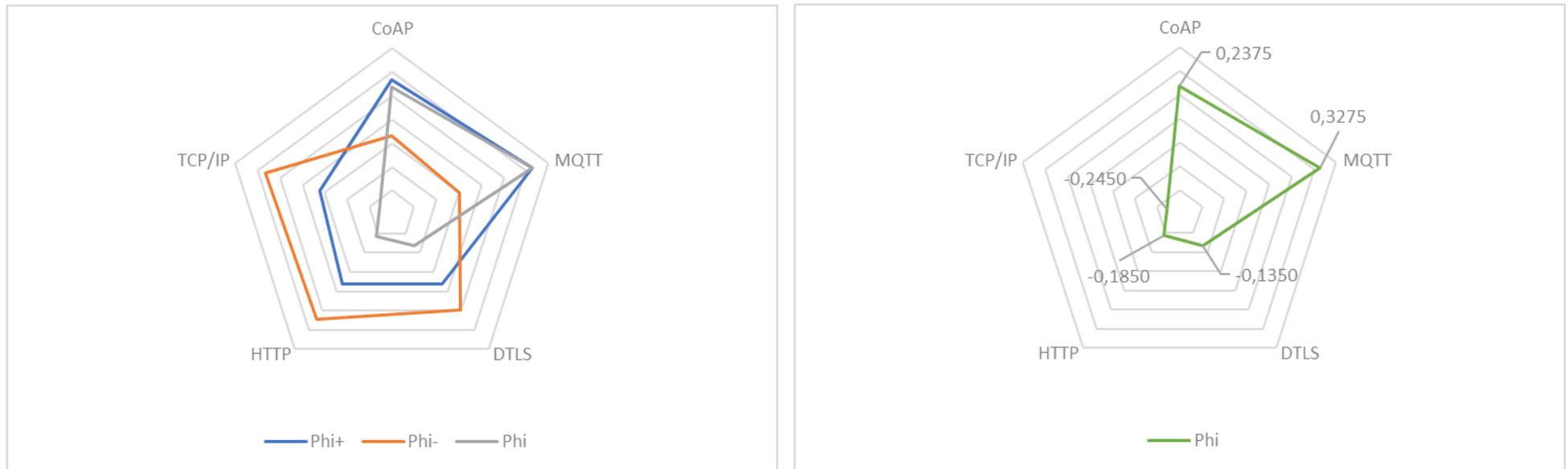


Figura 36 – Valores de Phi para tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

O protocolo MQTT foi o que melhor atendeu os requisitos funcionais com base nos dados oriundos da literatura. Na sequência, tem-se o CoAP que possui funções similares aos do MQTT, porém não tão eficiente em termos de “Tempo de Resposta” e “Elementos” (Arquitetura de transferência de dados) como destacado na Tabela 49. Percebe-se que nos demais requisitos avaliados ambos tem valores de Phi similares, o que corrobora com a afirmação de que os protocolos citados têm características equivalentes. A representação gráfica dos valores de Phi+, Phi- e Phi está disponível na Figura 36. A Figura 37 apresenta os dados de Phi como mencionado na Tabela 49.

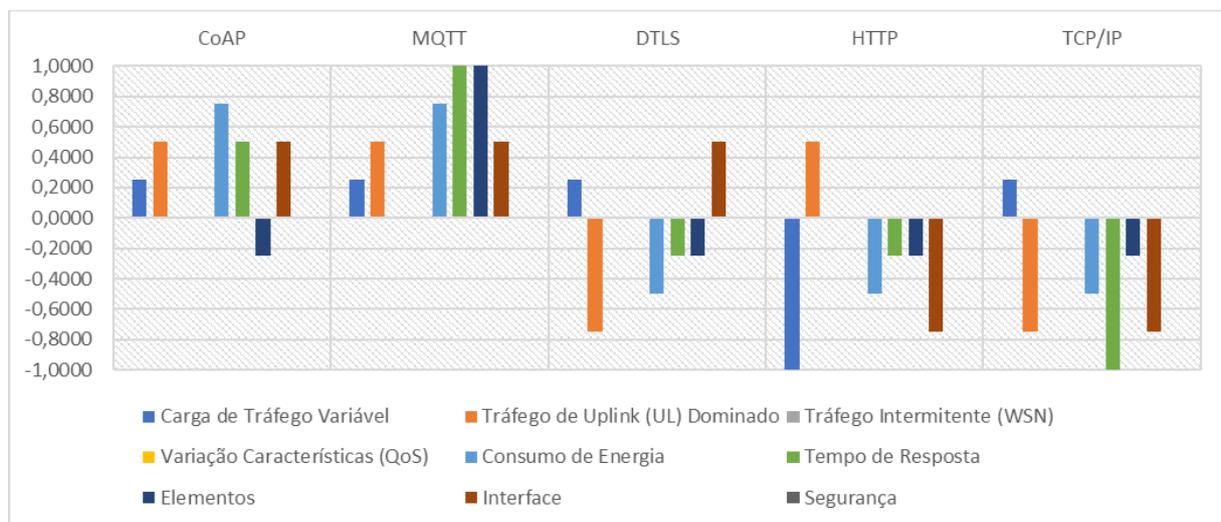


Figura 37 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de *Communication* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.3.4.4 Camada de Informação (*Information*)

A camada de *Information* tem como objetivo levar os dados coletados até a plataforma da Nuvem através de um arquivo em formato devidamente customizado de acordo com as necessidades da aplicação. Dessa forma, os elementos coletados através da literatura contidos na Tabela 50 apresentam as informações necessárias para auxiliar no suporte a tomada de decisão cujo o foco é escolher a melhor alternativa que atenda aos requisitos funcionais identificados. Dentre os critérios que detiveram o maior valor na comparação destacam-se os pertencentes ao atributo de “Autenticação e Autorização” que são “Gerenciamento de Mobilidade (MME)” e “Serviço de Assinante Doméstico

(HSS)” que possuem em conjunto 19% aproximadamente. Esses requisitos têm influência considerável com as características de segurança que o *case* demanda. Embora seja um PoC, certos critérios precisam ser considerados com antecedência para que não impactem no processo de execução. Outro atributo de grande relevância e com forte interferência na camada de *Functional*, que aborda diretamente as plataformas IoT, é o de “Manipulação e Exibição” que contém o requisito “Permite Conexão entre Gateway e Plataforma IoT” cujo valor ficou em torno de 14%. É fundamental enviar as informações até uma plataforma na Nuvem de forma estruturada e que seja flexível permitindo a interação entre diferentes tipos de dispositivos. As Figuras 38 e 39 representam os valores obtidos para ponderação dos atributos e requisitos funcionais visualmente.

Atributos	Pesos	Requisitos Funcionais	Pesos
Autenticação e autorização	0,38327	Gerenciamento de mobilidade (MME)	0,19164
		Serviço de assinante doméstico (HSS)	0,19164
Camada de computação/nuvem	0,13587	WebSockets	0,13587
Fluxo de dados compostos e armazenados	0,13587	Tipos de dados	0,13587
		Formato	0,07324
Informação de sensores	0,13587	Flexível	0,07324
		Localização	0,07764
		Status	0,01941
Manipulação e exibição	0,13587	Tempo	0,03882
		Permite conexão entre gateway e plataforma IoT	0,13587

Tabela 50 – Pesos dos atributos e critérios de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

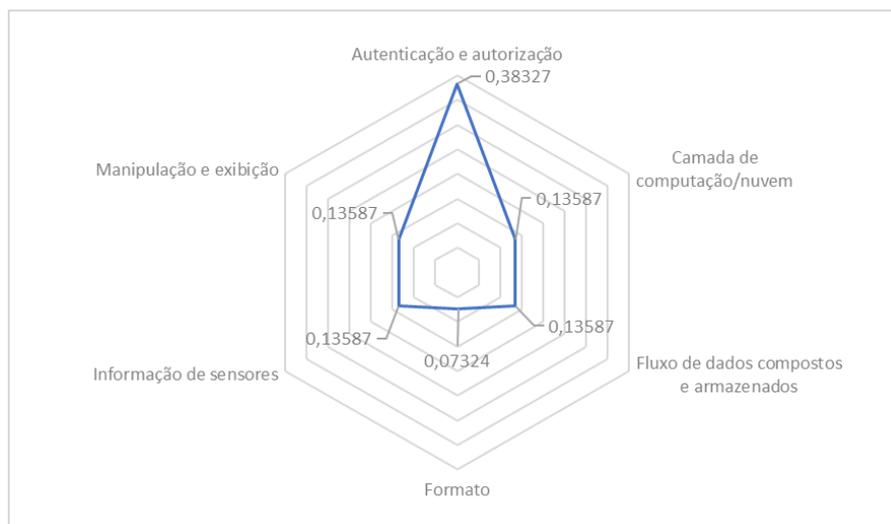


Figura 38 – Pesos dos atributos de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

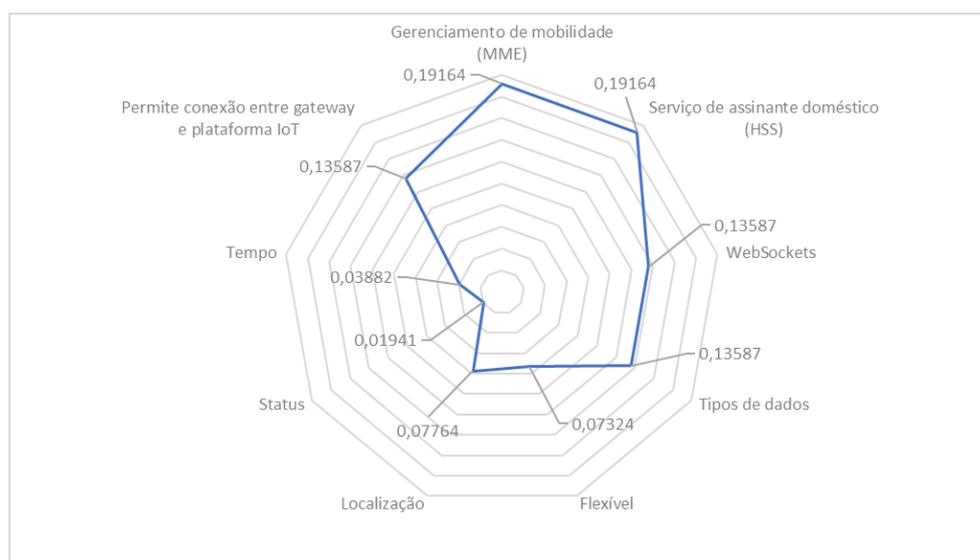


Figura 39 – Pesos dos critérios de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 51 apresenta as tecnologias/linguagens encontradas que são mais pertinentes para o *layer* de *Integration*. São elas: Node-Red, JSON e XML. A primeira tem sido muito utilizada para experimentos e tem ganhado maior visibilidade por parte das empresas. A segunda é a mais tradicional atualmente sendo recomendada para inúmeros casos de estudo e tem uma aderência significativa com os conceitos da Indústria 4.0 por causa da interoperabilidade. A última é mais antiga, porém serve de base conceitual para o desenvolvimento de novas aplicações. Por exemplo, algumas características que compõem a tecnologia de Node-Red detém complementos oriundos do

XML. Segundo os dados coletados nos artigos, tem-se como melhor opção a tecnologia JSON obtendo o único valor de Phi positivo. A Figura 40 apresenta os valores de Phi resultantes da Tabela 51 no formato gráfico.

Cálculo Phi			
Tecnologias	Phi+	Phi-	Phi
Node-Red	0,0973	0,1937	-0,0963
JSON	0,1942	0,0000	0,1942
XML	0,0968	0,1947	-0,0979

Tabela 51 – Valores de Phi das tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.



Figura 40 – Valores de Phi para tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

A alternativa JSON teve uma avaliação melhor, no acumulado, em relação as demais nos requisitos “Serviço de Assinante Doméstico (HSS)” e “Gerenciamento de Mobilidade”, conforme mostra a Tabela 52. Esses dois critérios são os mais significativos fazendo com que a linguagem JSON se tornasse mais favorável. A Figura 41 representa os valores de Phi apontados para cada critério analisado.

Requisitos Funcionais	Flexível	Gerenciamento de mobilidade (MME)	Serviço de assinante doméstico (HSS)	WebSockets	Tipo de dados	Localização	Status	Tempo	Permite conexão entre gateway e plataforma IoT
Tecnologias									
Node-Red	0,0000	0,5000	-1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
JSON	0,0000	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
XML	0,0000	-1,0000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 52 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

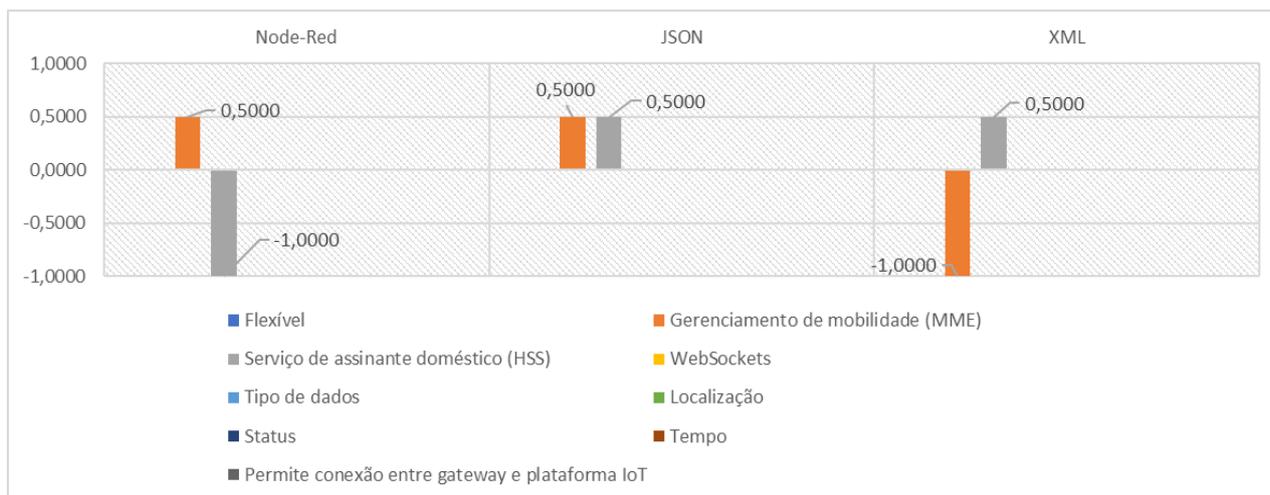


Figura 41 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de *Information* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.3.4.5 Camada de Funções (*Functional*)

A camada de *Functional* detém as plataformas IoT que tem como função gerenciar as informações oriundas dos dispositivos de *Assets* de forma que o usuário possa visualizar os dados intuitivamente e o mesmo fornecer elementos suficientes para caracterizar um processo de predição. Os dois atributos coletados foram “Gerenciamento de Serviços” e “Plataformas IoT”. Na avaliação demonstrada na Tabela 53, o primeiro possui uma ponderação de aproximadamente 67%. A possibilidade de realizar um controle efetivo das redes IoT (primeiro requisito funcional) e garantir uma melhor eficiência no processo (segundo requisito funcional) permitem com que esse atributo seja mais relevante para o layer *Functional*. Não basta ter apenas uma plataforma IoT sem ter o monitoramento efetivo do seu conteúdo presente. Por isso que o critério “Eficiência do Processo” se destaca frente aos demais atingindo um valor de 50%. Sob o domínio de “Plataformas IoT”, tem-se alguns critérios de forte importância como “Protocolos de Segurança”, “Integração” e “Dispositivo de Gerenciamento”. Questões que envolvam segurança são os pontos cruciais para que a plataforma IoT possa executar todas as suas funcionalidades existentes. Outro ponto relevante é com relação a integração da plataforma com demais sistemas ou dispositivos externos que fundamentam a análise do case proposto. Dessa forma, se consegue obter o agrupamento de informações

necessárias para tomar a decisão correta de forma embasada. As Figuras 42 e 43 representam os dados coletados na Tabela 53 de forma visual.

Atributos	Pesos	Requisitos Funcionais	Pesos
Gerenciamento de Serviços	0,66667	Controle de redes IoT	0,16667
Plataformas IoT	0,33333	Eficiência do processo	0,50000
		Integração	0,05245
		Protocolos de Segurança	0,15736
		Dispositivo de gerenciamento	0,05245
		Protocolos para coleta de informações	0,02755
		Suporte para visualização	0,01596
		Tipos de analytics	0,02755

Tabela 53 – Pesos dos atributos e critérios de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

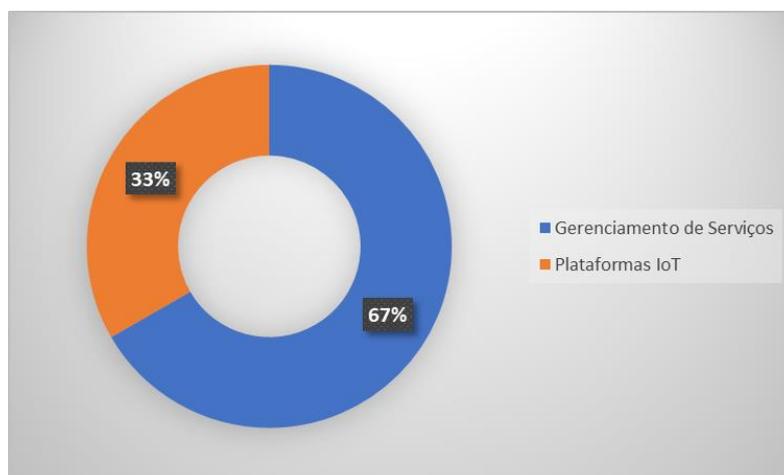


Figura 42 – Pesos dos atributos de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

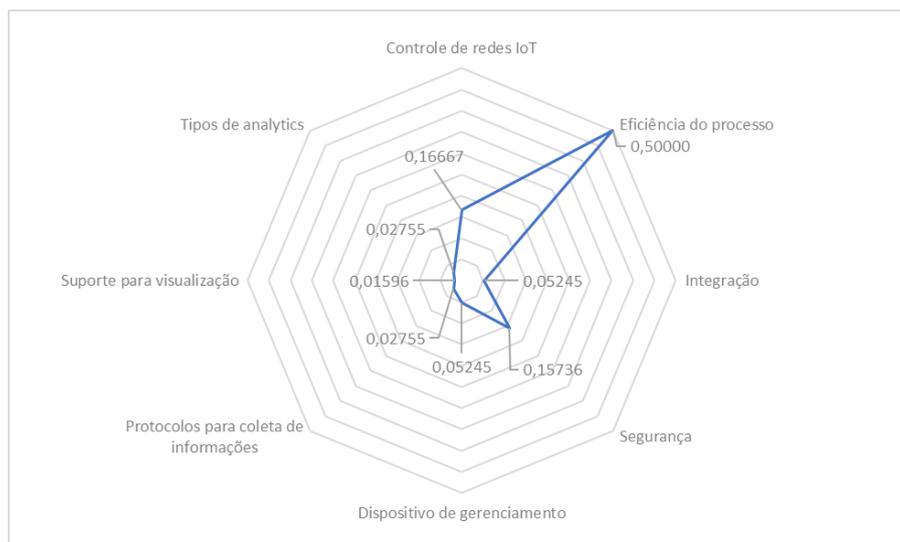


Figura 43 – Pesos dos critérios de *Funcional*.

FONTE: O AUTOR.

Com base nas informações coletadas da literatura, foi possível levantar vinte diferentes tipos de plataformas IoT existentes. Essas tecnologias estão contidas na Tabela 54. Dentre as que tiveram o maior valor de Phi, destacam-se “IBM IoT”, “Thingworx”, “AWS” e “Lelylan”, respectivamente nessa ordem de classificação. Essas plataformas frequentemente têm características similares, porém as diferenças estão mais relacionadas ao pacote de serviços oferecidos pela empresa responsável e características com viés mais técnico que são suscetíveis a mudança de acordo com o projeto ou experimento que se deseja adotar. A Figura 44 detém os valores em um formato de gráfico radar contidos na Tabela 54.

A Tabela 55 apresenta a relação entre os requisitos funcionais e as tecnologias aplicáveis através dos dados gerados utilizando o método Promethee. Destacado na cor verde tem-se os valores de Phi que foram melhor avaliados para cada critério proposto. A Figura 45 representa graficamente os valores existentes na Tabela 55.

<b>Cálculo Phi</b>			
<b>Tecnologias</b>	Phi+	Phi-	Phi
Azure da Microsoft	0,4260	0,0258	0,4002
Thingworx da PTC	0,5241	0,0092	0,5149
AWS da Amazon	0,4828	0,0151	0,4678
AirVantage	0,0147	0,3938	-0,3790
AppCelerator	0,0144	0,3952	-0,3807
Bosch IoT Suite - MDM IoT Plataform	0,0277	0,4031	-0,3754
Carriots	0,0147	0,3978	-0,3830
Ericsson Device Connection Platform (DCP)	0,0830	0,3657	-0,2827
Eurotech Device Cloud	0,4106	0,0739	0,3366
EVERYTHING	0,0195	0,3926	-0,3732
Exosite	0,4210	0,0284	0,3926
<b>IBM IoT</b>	<b>0,5743</b>	<b>0,0085</b>	<b>0,5658</b>
Lelylan	0,4828	0,0151	0,4678
Intel IoT Platform	0,0557	0,4050	-0,3493
Litmus Loop	0,0147	0,3978	-0,3830
ParStream	0,0679	0,4311	-0,3632
PLAT.ONE	0,4828	0,0151	0,4678
Samsung ARTIK Cloud	0,4374	0,0251	0,4123
Temboo	0,0147	0,3938	-0,3790
Xively - PaaS Enterprise IoT Platform	0,0274	0,4044	-0,3771

Tabela 54 – Valores de Phi das tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.



Figura 44 – Valores de Phi para tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

Requisitos Funcionais	Integração	Protocolos de Segurança	Dispositivo de gerenciamento	Protocolos para coleta de informações	Suporte para visualização	Tipos de Analytics	Controle de redes IoT	Eficiência do processo
<b>Tecnologias</b>								
Azure da Microsoft	-0,1550	-0,0271	0,2105	0,1119	0,0526	0,0850	0,5789	0,5789
Thingworx da PTC	-0,1550	0,4637	0,2105	0,9244	0,0526	0,8057	0,5789	0,5789
AWS da Amazon	-0,1550	0,4637	0,2105	-0,1349	0,0526	0,0850	0,5789	0,5789
AirVantage	-0,1550	-0,3669	0,2105	-0,1349	0,0526	0,0850	-0,4737	-0,4737
AppCelerator	-0,1550	-0,0271	-0,8421	-0,1349	0,0526	0,0850	-0,4737	-0,4737
Bosch IoT Suite - MDM IoT Plataforma	-0,1550	-0,3669	0,2105	0,5078	0,0526	-0,7004	-0,4737	-0,4737
Carriots	-0,1550	-0,3669	0,2105	-0,2654	0,0526	0,0850	-0,4737	-0,4737
Ericsson Device Connection Platform (DCP)	-0,1550	0,4637	0,2105	-0,2654	-1,0000	-0,7004	-0,4737	-0,4737
Eurotech Device Cloud	-0,1550	-0,3669	0,2105	-0,2654	0,0526	0,0850	0,5789	0,5789
EVRYTHING	-0,1550	-0,0271	-0,8421	0,1119	0,0526	0,0850	-0,4737	-0,4737
Exosite	-0,1550	-0,0271	0,2105	-0,1349	0,0526	0,0850	0,5789	0,5789
IBM IoT	0,8193	0,7794	0,2105	-0,1349	0,0526	0,0850	0,5789	0,5789
Lelylan	-0,1550	0,4637	0,2105	-0,1349	0,0526	0,0850	0,5789	0,5789
Intel IoT Platform	0,8193	-0,3669	0,2105	-0,2654	0,0526	-0,7004	-0,4737	-0,4737
Litmus Loop	-0,1550	-0,3669	0,2105	-0,2654	0,0526	0,0850	-0,4737	-0,4737
ParStream	0,9972	-0,3669	-0,8421	-0,2654	0,0526	0,8057	-0,4737	-0,4737
PLAT.ONE	-0,1550	0,4637	0,2105	-0,1349	0,0526	0,0850	0,5789	0,5789
Samsung ARTIK Cloud	-0,1550	-0,0271	0,2105	0,5078	0,0526	0,0850	0,5789	0,5789
Temboo	-0,1550	-0,3669	0,2105	-0,1349	0,0526	0,0850	-0,4737	-0,4737
Xively - PaaS Enterprise IoT Platform	-0,1550	-0,0271	-0,8421	0,5078	0,0526	-0,7004	-0,4737	-0,4737

Tabela 55 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

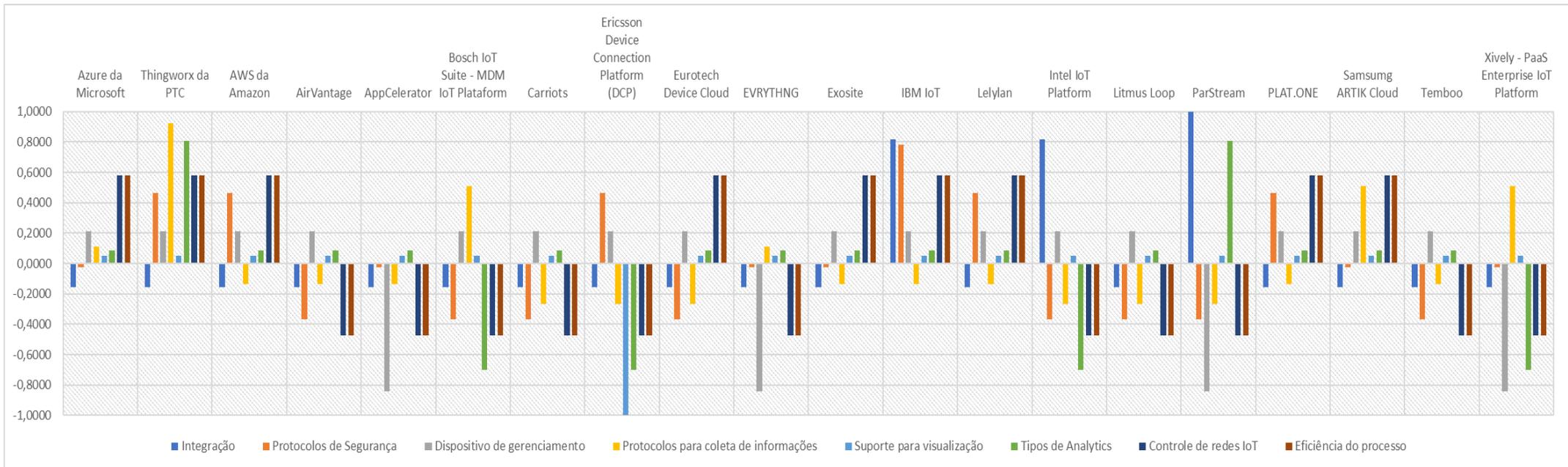


Figura 45 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de *Functional* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

### 5.3.4.6 Camada de Decisão (*Business*)

A Tabela 56 detém os valores dos atributos e requisitos funcionais identificados e que se entendem que sejam pertinentes a camada de *Business*. Os dois primeiros estão diretamente relacionados com a escolha mais eficiente das plataformas IoT, abordadas na camada de *Functional*. “Tecnologias LPWAN” envolve mais a definição de qual a solução que mais atende a PoC em questão. Por isso que o envolvimento dessa tomada de decisão deve atingir áreas mais estratégicas da empresa. Sendo assim, é fundamental que esses elementos estejam em um nível mais acima por envolverem pontos que necessitam de uma aprovação mais voltada a negócios. Nesse caso, para esta avaliação, serão considerados somente os requisitos funcionais que constituem a escolha das tecnologias LPWAN porque subentende-se que os demais atributos pertencentes a plataformas IoT já foram previamente analisados na avaliação dos elementos existentes em *Functional*. Mesmo assim, fica registrado que há critérios que podem ser utilizados para definir as plataformas de Internet das Coisas sob um ponto de vista mais estratégico. Por fim, as Figuras 46 e 47 representam os dados da Tabela 56 sob um aspecto visual.

Atributos	Pesos	Requisitos Funcionais	Pesos
Estrutura de implementação IoT	0,20000	Plataforma IoT na nuvem	0,20000
Segurança de plataformas IoT	0,60000	Autenticação	0,03904
		Autorização	0,03904
		Avaliação de contexto	0,07559
		Integridade de conteúdo	0,07559
		Interoperabilidade entre componentes	0,14492
Tecnologias LPWAN	0,20000	Segurança de dados	0,22582
		Camada de rede proprietária	0,01238
		Custo da conectividade	0,03969
		Custo do dispositivo	0,03969
		Flexibilidade de implementação	0,01366
		Necessidade de regulamentação	0,03969
		Open Source	0,02061
Propriedade de operadora de celular	0,02061		
		Sujeito a contratos de serviço	0,01366

Tabela 56 – Pesos dos atributos e critérios de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

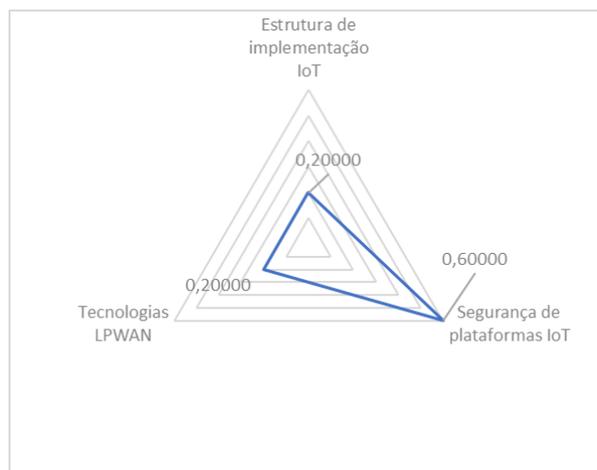


Figura 46 – Pesos dos atributos de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

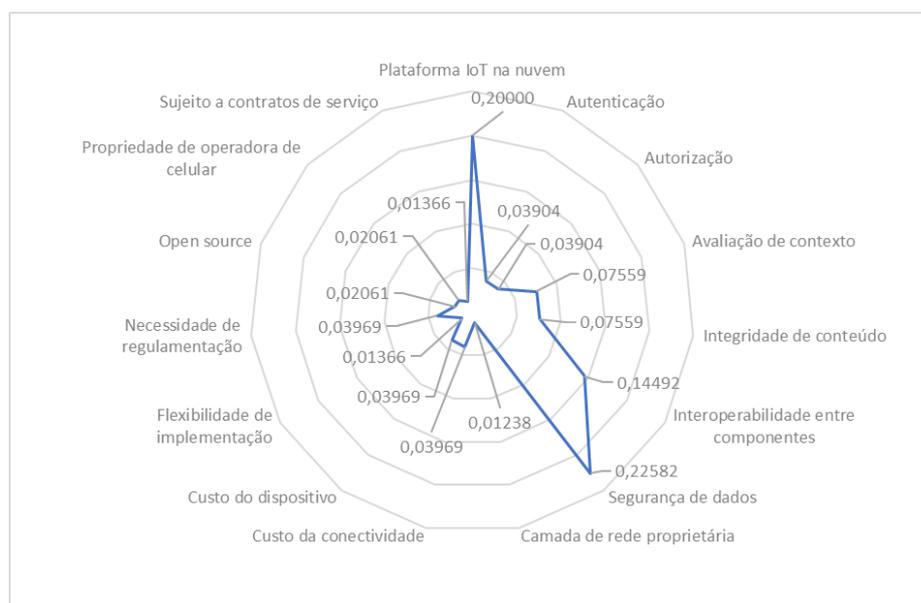


Figura 47 – Pesos dos critérios de *Business*.

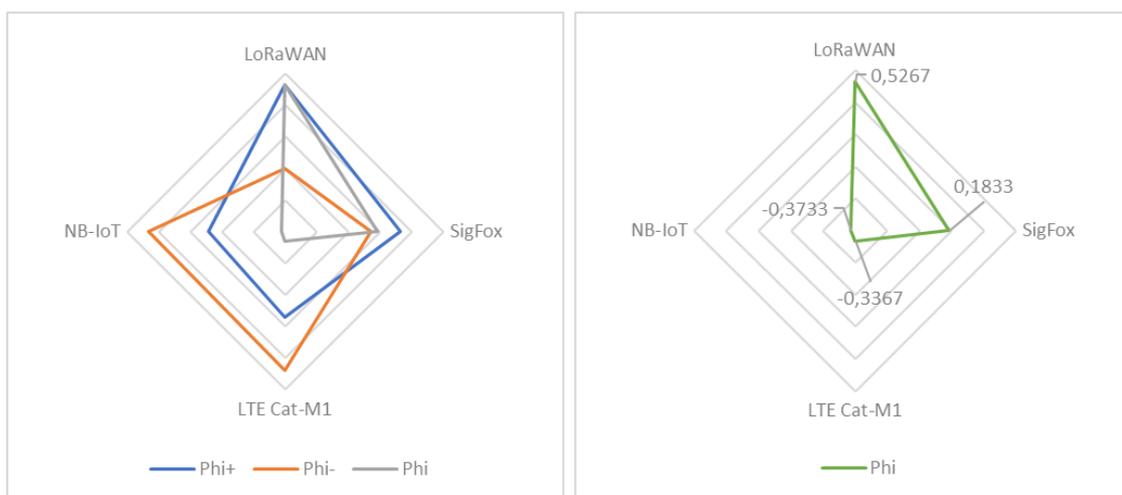
FONTE: O AUTOR.

Com base nas informações coletadas e inseridas no *software Visual Promethee*, tem-se os dados resultantes mostrados na Tabela 57. A tecnologia “LoRaWAN” se mostrou mais aderente aos requisitos funcionais que estão sendo avaliados. “SigFox” vem na sequência sendo uma alternativa homologada e usual no cenário nacional. Por fim, estão posicionadas as soluções LTE Cat-M1 e NB-IoT que ainda não estão disponíveis no Brasil e tem como característica dominante serem oferecidas por redes celulares. A Figura 48 apresenta os valores de  $\Phi^+$ ,  $\Phi^-$  e  $\Phi$  através da representação gráfica.

Cálculo Phi			
Tecnologias	Phi+	Phi-	Phi
LoRaWAN	0,5267	0,0000	0,5267
SigFox	0,3233	0,1400	0,1833
LTE Cat-M1	0,1433	0,4800	-0,3367
NB-IoT	0,0867	0,4600	-0,3733

Tabela 57 – Valores de Phi das tecnologias de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

Figura 48 – Valores de Phi para tecnologias de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

Analisando os dados existentes na Tabela 58, percebe-se que “LoRaWAN” obteve os maiores valores de Phi em quase todos os critérios avaliados. Considerando-se os elementos “Custos de Conectividade” e “Custos dos Dispositivos”, verifica-se que as tecnologias “LoRaWAN” e “SigFox” saem na frente em relação as outras. Os custos de implementação de ambas são baixos garantindo que o retorno do investimento venha em curto prazo o que atrai os tomadores de decisão das empresas. “LoRaWAN” se apresenta como um diferencial quando se aponta para os requisitos “Flexibilidade de Implementação”, “Open Source” e “Sujeito a Contratos de Serviços”. O primeiro e o segundo estão diretamente relacionados e são muito compatíveis com os princípios básicos que fundamentam a Indústria 4.0: a escalabilidade de soluções. A não necessidade de estar sujeita a contratos de serviços faz com que a tecnologia seja mais viável eliminando necessidades burocráticas que tendem a gerar barreiras de implementação. A Figura 49 apresenta graficamente os valores constados na Tabela 58.

Requisitos Funcionais	Camada de rede proprietária	Custo de conectividade	Custo de dispositivo	Flexibilidade de implementação	Necessidade de regulamentação	Open Source	Propriedade de operadora de celular	Sujeito a contratos de serviço
<b>Tecnologias</b>								
LoRaWAN	0,3333	0,6667	0,3333	1,0000	0,0000	1,0000	0,6667	1,0000
SigFox	-1,0000	0,6667	0,3333	0,0000	0,0000	0,0000	0,6667	-0,3333
LTE Cat-M1	0,3333	-0,3333	-1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,6667	-0,3333
NB-IoT	0,3333	-1,0000	0,3333	-1,0000	0,0000	-1,0000	-0,6667	-0,3333

Tabela 58 – Quadro relacional entre critérios e tecnologias de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

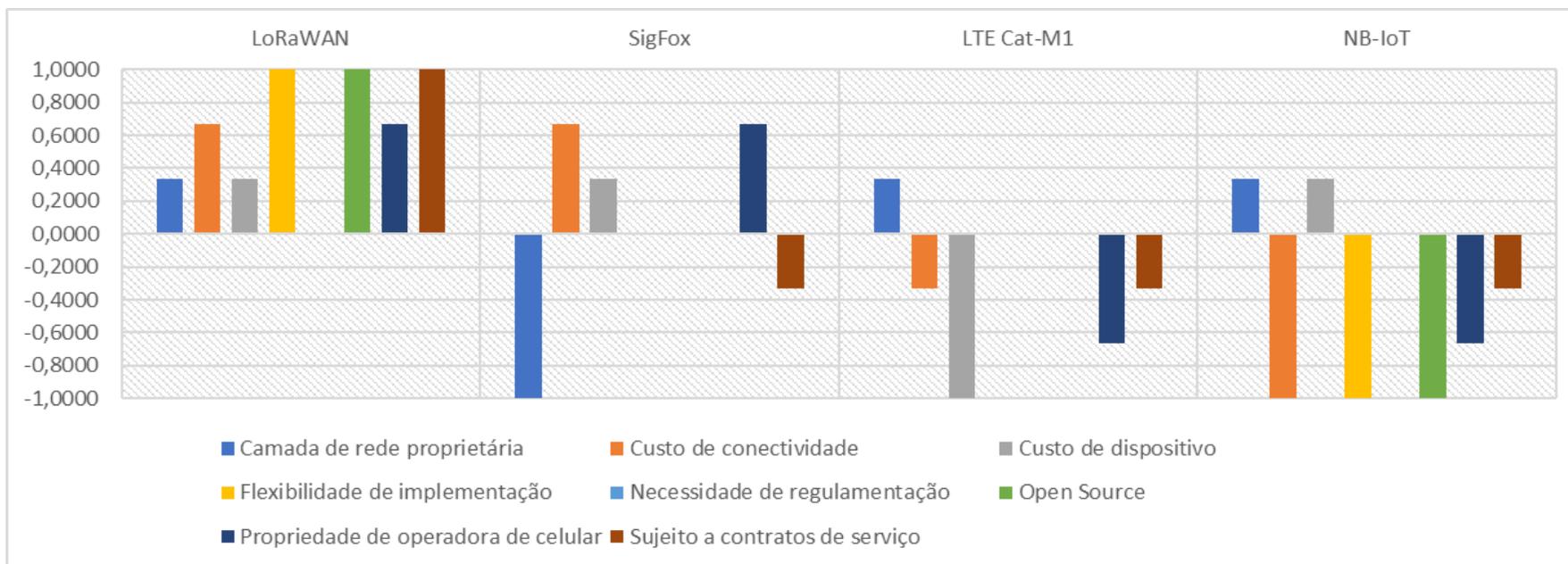


Figura 49 – Gráfico representando os valores de Phi para cada critério de *Business* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

## 5.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO DIAGNÓSTICO (S2)

A Face S2 tem como função levantar os pontos críticos da empresa para se fazer uma análise diagnóstica mais apurada em torno da implantação da PoC de Rastreabilidade de Embalagens. Na seção 5.3, foram considerados os elementos que compõem a face referencial do *framework* RDPM I4.0 através de dados que vieram da literatura. Novamente, com o suporte de artigos relacionados a temática do experimento, foram obtidas as barreiras, cujo foco está diretamente relacionado a interoperabilidade, para que se possa categorizar os requisitos funcionais da Face S1 segundo as características e limitações existentes na organização. Sendo assim, a seção 5.3.1 irá apresentar os dados coletados dos *papers* através de uma verificação apurada sobre o tema. A seção 5.4.2 tem como objetivo definir conceitualmente o que cada barreira de interoperabilidade impacta na aplicação. Por fim, a seção 5.4.3 trata do quadro relacional onde será associado os requisitos funcionais com as barreiras identificadas através dos métodos de suporte a tomada de decisão AHP e Promethee.

### 5.4.1 Dados Levantados da Literatura

A Tabela 59 apresenta as informações devidamente adquiridas com base nos dados extraídos da literatura. Todos os elementos foram classificados de acordo com a FEI (*Framework for Enterprise Interoperability*) (Chen e Daclin, 2008). Sendo assim, tem-se as categorias de *Business* como Organizacional, Tecnológico e Semântico. Em seguida, há a categoria de Serviços contendo somente critérios pertencentes a área tecnológica. Na sequência, tem-se a categoria de Dados onde estão presentes elementos tecnológicos e semânticos. Por fim, mas não menos importante, destaca-se a categoria de Processo cujas informações são relativas a tecnologias. O FEI contém as três divisões para cada *concern* denominadas Organizacional, Tecnológico e Semântico. Nesse caso nem todos os critérios pertinentes que sejam classificados nesses contextos foram encontrados, uma vez que a maioria dos dados se relacionavam com o uso adequado dos recursos técnicos o que limitou o escopo da análise a um viés mais tecnológico.

Barreira		Paper	Elementos coletados		
Nome	Tipo	Título	Palavras-Chave	Relações Diretas	Não considerado
Business	Organizacional	Survey of Platforms for Massive IoT	(1) Plataformas IoT: (1.1) Tipo de hardware; (1.2) Protocolos; (1.3) Visualização de dados; (1.4) Serviço demandado; (1.5) Estabilidade; (1.6) Escalabilidade; (1.7) Flexibilidade; (1.8) Modelo de preços; (1.9) Business case.	(1) Plataformas IoT: (1.1) Tipo de hardware; (1.2) Protocolos; (1.3) Visualização de dados; (1.4) Serviço demandado; (1.5) Estabilidade; (1.6) Escalabilidade; (1.7) Flexibilidade; (1.8) Modelo de preços; (1.9) Business case.	N/A
	Tecnológica	A Survey of Enabling Technologies of Low Power and Long Range Machine-to-Machine Communications	(1) Solução LoRaWAN: (1.1) Limitações: (1.1.1) Desvio de frequência; (1.1.2) Problema de otimização; (1.1.3) Ajuste de desempenho; (1.1.4) Estudo analítico de energia; (1.1.5) Estudo analítico de escalabilidade.	(1) Tecnologia LPWAN: (1.1) Limitações: (1.1.1) Mobilidade; (1.1.2) Distância do gateway; (1.1.3) Ambiente indoor. (1.2) End devices: (1.2.1) Acesso fácil ao hardware; (1.2.2) Capacidade limitada; (1.2.3) Sistema de segurança pouco robusto; (1.2.4) Variação de tipo de hardware e recursos. (1.3) Comunicação: (1.3.1) Necessidade de infraestrutura para disseminar informações no canal.	N/A
		Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	(1) Tecnologia LPWAN: (1.1) Limitações: (1.1.1) Mobilidade; (1.1.2) Distância do gateway; (1.1.3) Ambiente indoor.	(1.3.1) Necessidade de infraestrutura para disseminar informações no canal. (1.4) Plataformas exclusivas: (1.4.1) Sigfox; (1.4.2) Hologram; (1.4.3) Cisco Jasper. (1.5) Plataformas abertas: (1.5.1) Solução LoRaWAN: (1.5.1.1) Limitações: (1.5.1.1.1) Desvio de frequência; (1.5.1.1.2) Problema de otimização; (1.5.1.1.3) Ajuste de desempenho; (1.5.1.1.4) Estudo analítico de energia; (1.5.1.1.5) Estudo analítico de escalabilidade.	
		Survey of Platforms for Massive IoT	(1) Plataformas exclusivas: (1.1) Sigfox; (1.2) Hologram; (1.3) Cisco Jasper.		
		OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	(1) Tecnologia LPWAN: (1.1) End devices: (1.1.1) Acesso fácil ao hardware; (1.1.2) Capacidade limitada; (1.1.3) Sistema de segurança pouco robusto; (1.1.4) Variação de tipo de hardware e recursos. (1.2) Comunicação: (1.2.1) Necessidade de infraestrutura para disseminar informações no canal.		

	Semântica	A Survey of Enabling Technologies of Low Power and Long Range Machine-to-Machine Communications Survey of Platforms for Massive IoT	(1) Comparação pertinente entre soluções M2M e banda ISM.  (1) Plataformas abertas: (1.1) Não contém todos os recursos operacionais mandatórios; (1.2) Menção errônea sobre capacidade de gerar ganhos.	(1) Plataformas abertas: (1.1) Não contém todos os recursos operacionais mandatórios; (1.2) Menção errônea sobre capacidade de gerar ganhos.	(1) Comparação pertinente entre soluções M2M e banda ISM.
Serviços	Tecnológico	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	(1) Tecnologia LoRaWAN: (1.1) End nodes: (1.1.1) Desligamento dos switches RF; (1.1.2) Limite de resolução do <i>timestamp</i> ; (1.1.3) Sistema de localização de baixa potência; (1.1.4) Capacidade limitada de sistemas de segurança; (1.1.5) Variação de hardware e recursos.	(1) Tecnologia LoRaWAN: (1.1) End nodes: (1.1.1) Desligamento dos switches RF; (1.1.2) Limite de resolução do <i>timestamp</i> ; (1.1.3) Sistema de localização de baixa potência; (1.1.4) Capacidade limitada de sistemas de segurança; (1.1.5) Variação de hardware e recursos.	N/A
Dados	Tecnológico	A Survey of Enabling Technologies of Low Power and Long Range Machine-to-Machine Communications  Survey of Platforms for Massive IoT	(1) Ausência de mecanismo CCA no Aloha. (2) Tecnologias LPWAN: (2.1) Taxas de dados limitados; (2.2) Dificuldade de se obter o acesso a dados de baixa latência e alta confiabilidade. (1) Protocolos de comunicação: (1.1) MQTT: (1.1.1) Conceito do broker; (1.1.2) Utilidade: (1.1.2.1) Largura de banda limitada; (1.1.2.2) Redes deficitárias. (1.1.3) Serviços de nuvem: (1.1.3.1) Amazon; (1.1.3.2) Azure. (1.2) CoAP: (1.2.1) Transmissão em alta velocidade; (1.2.2) Tipo de aplicação.	(1) Tecnologias LPWAN: (1.1) Taxas de dados limitados; (1.2) Dificuldade de se obter o acesso a dados de baixa latência e alta confiabilidade. (2) Protocolos de comunicação: (2.1) MQTT: (2.1.1) Conceito do broker; (2.1.2) Utilidade: (2.1.2.1) Largura de banda limitada; (2.1.2.2) Redes deficitárias. (2.1.3) Serviços de nuvem: (2.1.3.1) Amazon; (2.1.3.2) Azure. (2.2) CoAP: (2.2.1) Transmissão em alta velocidade; (2.2.2) Tipo de aplicação.	(1) Ausência de mecanismo CCA no Aloha.

Semântica	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	(1) Tecnologia LoRa: (1.1) Escalabilidade: (1.1.1) Taxas de dados adaptativas (ADR) não suportadas; (1.1.2) Necessidade de adicionar o ADR aos recursos de software; (1.1.3) Análise detalhada da comunicação LoRa.	(1) Tecnologia LoRa: (1.1) Escalabilidade: (1.1.1) Taxas de dados adaptativas (ADR) não suportadas; (1.1.2) Necessidade de adicionar o ADR aos recursos de software; (1.1.3) Análise detalhada da comunicação LoRa.	N/A
Processo Tecnológico	Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	(1) Ambientes de aplicação LPWAN: (1.1) Interno: (1.1.1) Restrições: (1.1.1.1) Tamanho do pacote; (1.1.1.2) Menor mobilidade urbana; (1.1.1.3) Distância em relação ao gateway; (1.1.1.4) Distância em relação ao dispositivo; (1.1.1.5) Interferência devido aos obstáculos. (1.2) Externo: (1.2.1) Restrições: (1.2.1.1) Velocidade do veículo alta; (1.2.1.2) Distância em relação aos gateway;	(1) Ambientes de aplicação LPWAN: (1.1) Interno: (1.1.1) Restrições: (1.1.1.1) Tamanho do pacote; (1.1.1.2) Menor mobilidade urbana; (1.1.1.3) Distância em relação ao gateway; (1.1.1.4) Distância em relação ao dispositivo; (1.1.1.5) Interferência devido aos obstáculos. (1.2) Externo: (1.2.1) Restrições: (1.2.1.1) Velocidade do veículo alta; (1.2.1.2) Distância em relação aos gateway;	N/A

---

Tabela 59 – Critérios e atributos levantados na literatura para as barreiras de interoperabilidade.

FONTE: O AUTOR.

## 5.4.2 Definição das Barreiras de Interoperabilidade

De forma a contextualizar as informações aderentes as barreiras de interoperabilidade, as seções 5.4.2.1 (*Business*), 5.4.2.2 (*Process*), 5.4.2.3 (*Service*) e 5.4.2.4 (*Data*) trazem a definição das mesmas para que esteja conciso o que será avaliado nas etapas que se sucedem.

### 5.4.2.1 Barreiras Estratégicas (*Business*)

As informações que tem como objetivo definir as barreiras identificadas para *Business*, estão disponíveis na Tabela 60. Foram coletados 9 critérios categorizados como organizacionais, 2 classificados como do tipo semântico e 13 como do tipo tecnológico o que totaliza em 24.

Categoria	Atributo	Barreiras	Definição	Fonte
Organizacional	Plataforma IoT	Escalabilidade	É necessário certificar-se de que a plataforma irá funcionar não somente para poucos <i>endpoints</i> , mas com necessidades crescentes ao longo do tempo.	Hejazi et al. (2018)
		Estabilidade	Necessário escolher uma plataforma que tenha alta disponibilidade, ou seja, probabilidade de ser operacional sem interrupção por vários anos.	
		Flexibilidade	A plataforma deve ser flexível para acompanhar as variações de protocolos, tecnologias e/ou recursos.	
		Protocolos	Os protocolos devem comportar os requisitos definidos garantindo a eficiência operacional mandatória.	
		Business case	Definição clara do escopo do projeto/PoC de forma que se tenha os elementos para identificar todas os requisitos para compor na escolha de determinada tecnologia.	
		Modelo de preços	As plataformas têm como preocupação economizar tempo, porém suas funcionalidades tendem a ter um custo elevado. Da mesma forma, plataformas que buscam poupar dinheiro não contém os serviços necessários para a constituição do case.	
		Serviço demandado	Necessário determinar a tecnologia que detenha o serviço compatível com as demandas da empresa.	
		Tipo de hardware	Especificação que é oriunda de um estudo do ambiente onde será implantando as tecnologias que ajuda a determinar qual será a melhor plataforma a ser escolhida.	
		Visualização de dados	Dashboards que apresentem as informações de maneira clara ao usuário de acordo com as determinações do case.	
Semântico	Plataformas abertas	Menção errônea sobre capacidade de gerar ganhos	Plataformas que não contém informações claras sobre o retorno que poderão dar aos seus clientes.	

		Não contém todos os recursos operacionais mandatórios	Além de não conter os requisitos funcionais mais significativos, a informação não é comunicada de maneira acessível aos clientes.	
Tecnológico	Comunicação	Necessidade de infraestrutura para disseminar informações no canal	As comunicações LPWAN sobre os espaços em branco reduzem significativamente o estresse na banda ISM. Dessa forma, tem-se a necessidade de aprimorar a infraestrutura para disseminar as informações do canal.	Dongare et al. (2017)
	<i>End devices</i>	Acesso fácil ao hardware	O fácil acesso permite com que os dispositivos, quando em grande maioria, se tornem vulneráveis aos ataques.	
		Capacidade limitada	Há dificuldades de aprimorar o seu sistema de segurança, uma vez que os custos devem ser baixos e há uma capacidade limitada de hardware.	
		Sistema de segurança pouco robusto	Devido a características da solução, há inúmeras dificuldades de expandir o sistema de segurança dos dispositivos.	
		Variação do tipo de hardware e recursos	Com a introdução de distintas soluções no mercado, apresenta-se grandes barreiras para se padronizar uma solução que atenda aos requisitos mínimos de segurança.	
	Limitações	Mobilidade	Impacta fortemente na funcionalidade das tecnologias LPWAN independente da velocidade.	Patel e Myounggyu (2017)
		Ambiente indoor	O ambiente fechado faz com que a propagação do sinal diminua consideravelmente. Isso tende a piorar quando há presença de obstáculos.	
		Distância do gateway	Variável que serve para mensurar em quais locais deverão ser posicionados os gateways de forma que se obtenha a melhor performance de comunicação.	
	Solução LoRaWAN	Ajuste de desempenho	Desafio considerável para as tecnologias LPWAN, onde os estudos da LoRaWAN focam somente na capacidade da rede e comunicação.	Wang e Abraham (2017)
		Desvio de frequência	Limitação muito frequente nas tecnologias LPWAN onde se aprofunda mais nas tecnologias RPMA e LoRaWAN.	
		Estudo analítico de energia	Avaliação do consumo de energia durante o processo de transferência de dados.	
		Estudo analítico de escalabilidade	A medida que se for aumentando a quantidade de dispositivos, será necessário compreender como se propagará a sua escalabilidade. As devidas limitações precisam ser mensuradas previamente.	
		Problema de otimização	Limitação mais predominante na tecnologia RPMA onde há uma dificuldade de avaliar o desempenho da tecnologia.	

Tabela 60 – Definição das barreiras de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.4.2.2 Barreiras Processuais (*Process*)

As informações que tem como objetivo definir as barreiras identificadas para *Process*, estão disponíveis na Tabela 61. Foram encontrados somente critérios que tinham maior pertinência com aspectos tecnológicos. Nesse caso, 7 elementos estão descritos para melhor compreensão em relação ao case proposto no estudo.

<b>Categoria</b>	<b>Atributo</b>	<b>Critérios</b>	<b>Barreiras</b>	<b>Definição</b>	<b>Fonte</b>
Tecnológico	Ambientes de aplicação LPWAN	Externo	Distância em relação aos gateways	Em ambiente externo, o sinal tende a se propagar facilmente. Porém, quando se aumenta a distância entre os <i>gateways</i> , o atraso no envio do pacote de dados torna-se constante.	Patel e Myounggyu (2017)
			Velocidade do veículo alta	De forma análoga, quando se aumentou a velocidade do veículo (experimento descrito no artigo), houve sucessivas perdas de comunicação entre os <i>end points</i> e os <i>gateways</i> .	
		Interno	Distância em relação ao dispositivo	O dispositivo precisa estar a uma distância não muito longa do <i>gateway</i> para que possa enviar as informações mandatórias e sofrer quaisquer atualizações das configurações de tempo de envio de mensagens.	
			Distância em relação ao gateway	Quanto maior a distância entre dispositivos e <i>gateway</i> , mais complicado torna-se a comunicação acarretando em perda de pacotes. Por isso que a área de cobertura deve ser bem dimensionada de forma que atenda todas os dispositivos presentes no ambiente.	
			Interferência devido aos obstáculos	Quanto maior a presença de obstáculos metálicos e área fechada, pior será a propagação do sinal. Sendo assim, torna-se fundamental mensurar esse aspecto para que a implementação seja efetiva.	
			Menor mobilidade urbana	Está diretamente relacionada com a distância entre o <i>gateway</i> . Independente do veículo se transportar lentamente, a distância tende a aumentar e prejudicar a performance da comunicação.	
Tamanho do pacote	No experimento, obteve-se um atraso considerável à medida que se aumentou o tamanho do pacote. As tecnologias LPWAN não devem transportar um volume elevado de dados.				

Tabela 61 – Definição das barreiras de *Process*.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.4.2.3 Barreiras de Serviços (*Services*)

As informações que tem como objetivo definir as barreiras identificadas para *Services*, estão disponíveis na Tabela 62. Foram coletados 5 critérios categorizados como do tipo tecnológico. Não foi possível elencar informações que contivessem dados pertencentes a Semântico e Organizacional.

<b>Categoria</b>	<b>Atributo</b>	<b>Crítérios</b>	<b>Barreiras</b>	<b>Definição</b>	<b>Fonte</b>
Tecnológico	Tecnologia LPWAN	<i>End-Nodes</i>	Capacidade limitada de sistemas de segurança	Vários fatores tornam os LPWANs vulneráveis a ataques. Os LPWANs contêm um grande número de dispositivos espalhados em áreas fisicamente grandes e gerenciados por entidades distintas. O <i>hardware</i> do dispositivo (e também o seu <i>firmware</i> ) podem ser acessados e comprometidos diretamente. Os <i>end devices</i> são de custo baixo e possuem capacidade limitada, o que impede de usar sistemas de segurança mais robustos.	Dongare et al. (2017)
			Desligamento dos <i>switches</i> RF	Durante o desenvolvimento do LoRaBug (experimento descrito no artigo), descobriu-se que o projeto de referência para os <i>end-nodes</i> não poderia desligar os seus <i>switches</i> RF. Isso resultará num consumo constante de 20uA, mesmo quando o dispositivo estiver hibernado. Tal fato afeta diretamente a vida útil da bateria.	
			Limite de resolução do <i>timestamp</i>	Os <i>gateways</i> desempenham um papel importante na localização de RF dos <i>end-nodes</i> , particularmente por mensagens sem fio de registros de data e hora em ToF e TDoA. Entretanto, as implementações atuais de <i>hardware</i> e <i>software</i> do LoRaWAN limitam a resolução do <i>timestamp</i> em 1 seg. Isso limita a precisão da localização em até 300m, o que é insuficiente para realizar o gerenciamento. Um melhor sistema de localização de baixa potência ainda é um ponto aberto a ser pesquisado.	
			Sistema de localização de baixa potência	Os <i>gateways</i> desempenham um papel importante na localização de RF dos <i>end-nodes</i> , particularmente por mensagens sem fio de registros de data e hora em ToF e TDoA. Entretanto, as implementações atuais de <i>hardware</i> e <i>software</i> do LoRaWAN limitam a resolução do <i>timestamp</i> em 1 seg. Isso limita a precisão da localização em até 300m, o que é insuficiente para realizar o gerenciamento. Um melhor sistema de localização de baixa potência ainda é um ponto aberto a ser pesquisado.	
			Variação de <i>hardware</i> e recursos	A variação de <i>hardware</i> e demais recursos dificulta a padronização de uma solução que atenda aos requisitos de segurança considerados prioritários.	

Tabela 62 – Definição das barreiras de *Services*.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.4.2.4 Barreiras de Dados (*Data*)

As informações que tem como objetivo definir as barreiras identificadas para *Services*, estão disponíveis na Tabela 63. Foram coletados 7 critérios categorizados como do tipo semântico e organizacional. Todos os elementos coletados possuem relação com aspectos tecnológicos sendo plausível classifica-los como do tipo tecnológico. Nesse contexto, pensou-se em abordar os dados não somente sob um ponto de vista técnico e sim de gestão para que as informações fossem tratadas com maior afinco fazendo uma analogia com o case proposto no estudo. Sendo assim, eles detiveram uma classificação mais criteriosa.

<b>Categoria</b>	<b>Atributo</b>	<b>Crítérios</b>	<b>Barreiras</b>	<b>Definição</b>	<b>Fonte</b>
Semântico	Tecnologia LoRa	Escalabilidade	Análise detalhada da comunicação LoRa Necessidade de adicionar o ADR aos recursos de software	Muitas estimativas comerciais pressupõem o uso de taxa de dados adaptativas (ADR) que não são suportadas e devem ser adicionadas aos recursos do software (dependendo do tipo de aplicativo e contexto que se está trabalhando). Tal fato, exigirá uma análise detalhada da comunicação	Dongare et al. (2017)

Organizacional	Protocolos de Comunicação	CoAP	Taxas de dados adaptativas (ADR) não suportadas Tipo de aplicação	LoRa para que se possa desenvolver modelos apropriados para ADR em cada caso.  É mais usual em casos onde o pacote de mensagens enviado é baixo, permitindo com que a transmissão seja feita de forma rápida. Caso contrário, é melhor utilizar o MQTT.	Hejazi et al. (2018)
		MQTT	Transmissão em alta velocidade Utilidade	Recurso demandado quanto os dispositivos precisam transmitir e receber em alta velocidade. Tem sua utilidade vigente em comunicação com largura de banda limitada, como sites remotos distintos ou redes deficitárias.	
			Conceito do broker Serviço de nuvem	É uma forma de comunicação entre dispositivos que utilizem a rede WAN. A maioria dos serviços de nuvem atendem o protocolo MQTT. Destacam-se Amazon e Azure.	

Tabela 63 – Definição das barreiras de *Data*.

FONTE: O AUTOR.

### 5.4.3 Desenvolvimento do Quadro Relacional

As barreiras identificadas ajudam a vislumbrar os possíveis *gaps* que poderão haver no experimento durante a sua fase de execução. Sendo assim, torna-se fundamental uma análise diagnóstica cuja finalidade é ponderar e julgar o real impacto de tais limitações frente as condições atuais que a organização detém. O estudo a ser realizada na Face S2 do *framework* RDPM I4.0 suportará na escolha mais assertiva da tecnologia que mais se aderem à PoC que está sendo planejada. Dessa forma, as seções 5.4.3.1, 5.4.3.2, 5.4.3.3, 5.4.3.4, 5.4.3.5 e 5.4.3.6 representam a avaliação realizada, através do uso dos métodos AHP e Promethee, seguindo a analogia empregada das camadas do RAMI 4.0. A consequente relação entre as barreiras e os requisitos funcionais que compõem cada *layer* foi feita com base nos elementos técnicos que as definiam e por possuírem características similares.

#### 5.4.3.1 Camada de Dispositivos (*Assets*)

As barreiras de interoperabilidade que envolvem determinados elementos pertencentes a processos tiveram maior compatibilidade com os critérios que definam a classificação dos componentes que serão instalados nas embalagens para realizar o devido rastreamento. Por deterem aspectos

técnicos, o tipo da barreira foi categorizado como “Tecnológico”. O atributo relaciona elementos que tratam da análise de ambiente onde se aplicam as soluções LPWAN denominado “Ambientes de Aplicação LPWAN”. Como tal adoção pode ser realizada tanto em ambientes externos quanto internos, fez-se necessária essa subdivisão de forma que a análise sob os subcritérios pudesse ser melhor mapeada. Com base nos dados contidos na literatura, tem-se dois subcritérios para ambiente externo e cinco para ambiente interno. A Tabela 64 apresenta os pesos dados, com base na visão da organização onde será implementado o conceito, onde se prioriza os elementos considerados mais significativos no contexto atual da Prova de Conceito.

Barreiras de Interoperabilidade	Tipo	Atributos	Peso	Critérios	Peso	Subcritérios	Peso
<i>Process</i>	Tecnológico	Ambientes de aplicação LPWAN	1,00000	Externo	0,75000	Distância em relação aos gateways	0,60000
						Velocidade do veículo alta	0,15000
				Interno	0,25000	Distância em relação ao dispositivo	0,02129
						Distância em relação ao gateway	0,05875
						Interferência devido aos obstáculos	0,10261
						Menor mobilidade urbana	0,01074
						Tamanho do pacote	0,05661

Tabela 64 – Pesos dos atributos e critérios de *Process*.

FONTE: O AUTOR.

Com base nessas informações, destaca-se a avaliação no ambiente externo com sendo a mais determinante para execução do experimento. O subcritério “Distância em relação aos *gateways*” trata dos dispositivos instalados em ambiente aberto onde o sinal tende a se propagar com maior facilidade. Como o contexto da PoC envolve a rastreabilidade de embalagens da empresa até os fornecedores, considera-se esse apontamento como sendo o mais preponderante no estudo. Outros dois subcritérios que requerem atenção são “Velocidade do Veículo Alta” e “Interferência devido a Obstáculos”. O primeiro tende a ter um impacto relevante quando se desloca a uma velocidade elevada, conforme descrito no *case* de Patel e Myounggyu (2017). O segundo afeta diretamente o monitoramento *indoor* onde a presença constante de barreiras impede que o sinal seja mais abrangente havendo a

necessidade de instalação de mais *gateways* na área. As Figuras 50 e 51 representam graficamente os dados constados na Tabela 64.

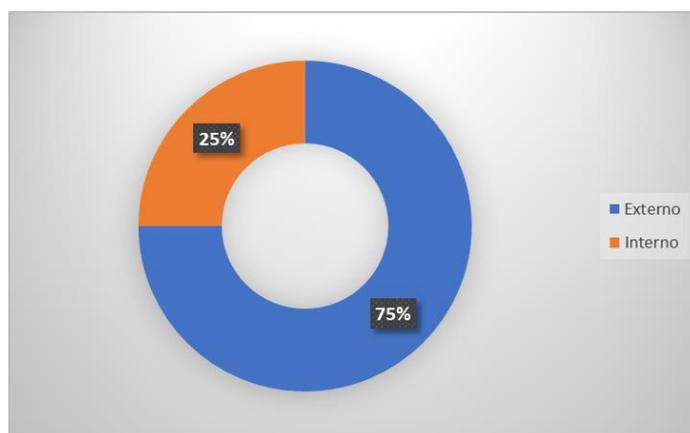


Figura 50 – Pesos dos critérios do atributo Ambientes de Aplicação LPWAN.

FONTE: O AUTOR.

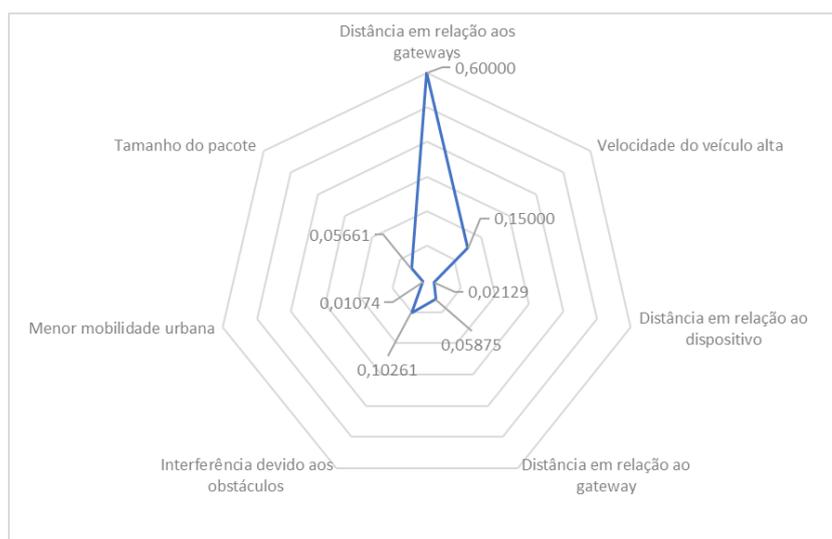


Figura 51 – Pesos dos subcritérios do atributo Ambientes de Aplicação LPWAN.

FONTE: O AUTOR.

O resultado do estudo diagnóstico para a camada de *Assets* está presente na Tabela 65. Essas informações foram adquiridas através de uma análise técnica no ambiente de implementação, nesse caso na área logística da companhia, cujo os profissionais que corroboraram com esse estudo estão atuando na infraestrutura de TI e no setor da logística responsável pela gestão das embalagens. Os requisitos funcionais de *Assets* melhor atendidos na empresa, levando em consideração as barreiras de interoperabilidade presentes, são “Suporte a Rede Privada”, “Maximizar a Vida Útil dos

Dispositivos” e “Suporte TCP/IP”. Para eles, o impacto de tais barreiras não foi significativo, ressaltando que o critério “Maximizar a Vida Útil dos Dispositivos” é um dos aspectos mais relevantes que sustentam o uso das tecnologias LPWAN. Por outro lado, tem-se os requisitos que não estão sendo atendidos conforme demandado. Elenca-se “Aplicações Adequadas”, “Baixa Latência” e “Atribuições de Emparelhamento” como os mais críticos. O primeiro se deve pela dificuldade de aplicar as tecnologias LPWAN seguindo as devidas características de cada processo. Há particularidades existentes onde não se tem uma visão clara de qual será o tamanho do impacto para com elas. Em relação ao segundo e terceiro, percebe-se que todo tipo de elemento que envolva conectividade não é bem avaliado dentro da organização. Isso ocorre por causa da dificuldade de homologar certos dispositivos para garantir a conexão dos mesmos na rede industrial. Sendo assim, é necessária uma conexão externa que impacta consideravelmente na latência e no emparelhamento resultando em atrasos no tempo de resposta. A Figura 52 mostra os gráficos radares dos dados presentes na Tabela 65.

Cálculo Phi			
Requisitos Funcionais de Assets	Phi+	Phi-	Phi
Aplicações Adequadas	0,0611	0,8022	-0,7411
Capacidade total de rede	0,1500	0,3222	-0,1722
Suporte a rede privada	0,6567	0,0022	0,6544
Suporte TCP/IP	0,5922	0,0644	0,5278
Seleção de canal	0,2122	0,2244	-0,0122
Chaveamento de frequência	0,2122	0,2244	-0,0122
Baixa latência	0,1044	0,4756	-0,3711
Maximizar a vida útil dos dispositivos	0,6478	0,0156	0,6322
Atribuições de emparelhamento	0,1044	0,4733	-0,3689
Taxa de dados	0,2022	0,3389	-0,1367

Tabela 65 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de *Process Tecnológico*.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 66 mostra o nível de impacto que cada barreira listada causa nos requisitos funcionais pertencentes a *Assets*. Destaca-se a “Distância em relação ao Dispositivo” que teve interferência nos valores resultantes de Phi para os critérios “Aplicações Adequadas”, “Capacidade Total de Rede”, “Baixa Latência” e “Maximizar a Vida Útil dos Dispositivos”. Entende-se que por ser um item crucial no funcionamento correto das tecnologias LPWAN o impacto no processo e na conectividade será relevante. Em relação ao último requisito

mencionado, subentende-se que a distância entre dispositivo e *gateway* quando não dimensionada corretamente, permitirá que o sinal não seja emitido fazendo com que o circuito interno tende a encontra-lo em determinado intervalo de tempo fazendo com que o consumo de bateria seja maior.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>	Distância em Relação aos Gateways	Velocidade do Veículo Alta	Distância em Relação ao Dispositivo	Distância em Relação ao Gateway	Interferência Devido aos Obstáculos	Menor Mobilidade Urbana	Tamanho do Pacote
<b>Requisitos Funcionais de Assets</b>							
Aplicações Adequadas	-1,0000	0,3333	-0,6667	-1,0000	-0,5556	-0,8889	-0,8889
Capacidade total de rede	-0,2222	0,3333	-0,6667	-0,5556	-0,5556	0,0000	0,2222
Suporte a rede privada	0,7778	0,3333	0,4444	0,4444	0,8889	0,0000	0,2222
Suporte TCP/IP	0,7778	0,3333	0,4444	-0,5556	0,2222	0,0000	0,2222
Seleção de canal	-0,2222	0,3333	0,4444	0,4444	0,2222	0,0000	0,2222
Chaveamento de frequência	-0,2222	0,3333	0,4444	0,4444	0,2222	0,0000	0,2222
Baixa latência	-0,2222	-0,8889	-0,6667	0,4444	-0,5556	-0,8889	-0,8889
Maximizar a vida útil dos dispositivos	0,7778	0,3333	-0,6667	0,4444	0,8889	0,0000	0,2222
Atribuições de emparelhamento	-0,2222	-0,8889	0,4444	-0,5556	-1,0000	0,8889	0,2222
Taxa de dados	-0,2222	-0,5556	0,4444	0,4444	0,2222	0,8889	0,2222

Tabela 66 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de *Process Tecnológico*.

FONTE: O AUTOR.

Outra barreira que tem forte impacto no case em questão é o “Tamanho do Pacote”. Por definição do uso das tecnologias LPWAN, os pacotes de dados enviados devem ser pequenos contendo apenas as informações consideradas essenciais para monitoramento do processo. Caso contrário, a latência tende a aumentar devido a aplicação não estar sendo a recomendada. Por isso que o estudo preliminar do processo passa a ser fundamental antes de adoção de quaisquer recursos técnicos que tem como objetivo melhorar o controle sob as embalagens existentes. A Figura 53 demonstra graficamente os valores contidos na Tabela 66.

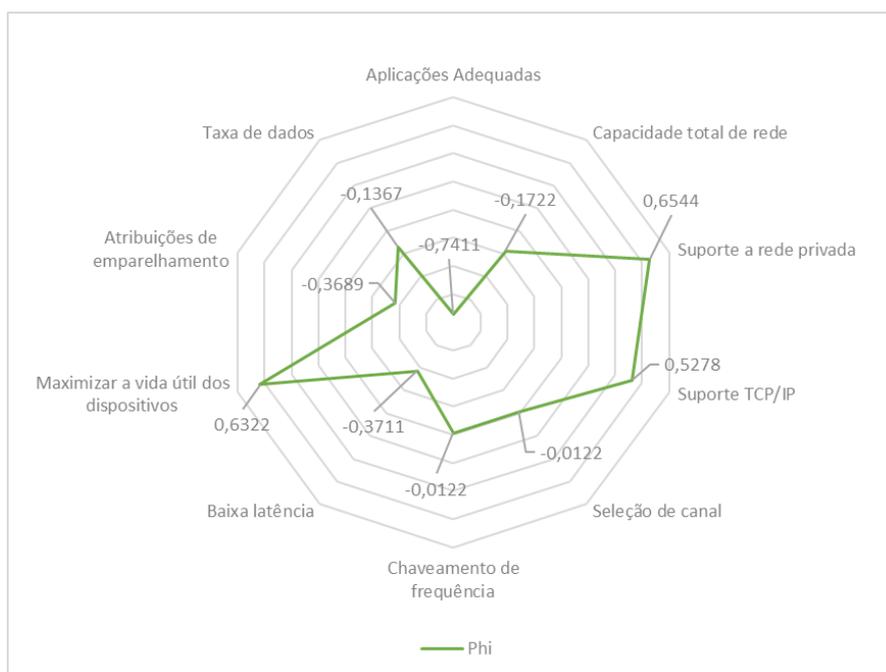
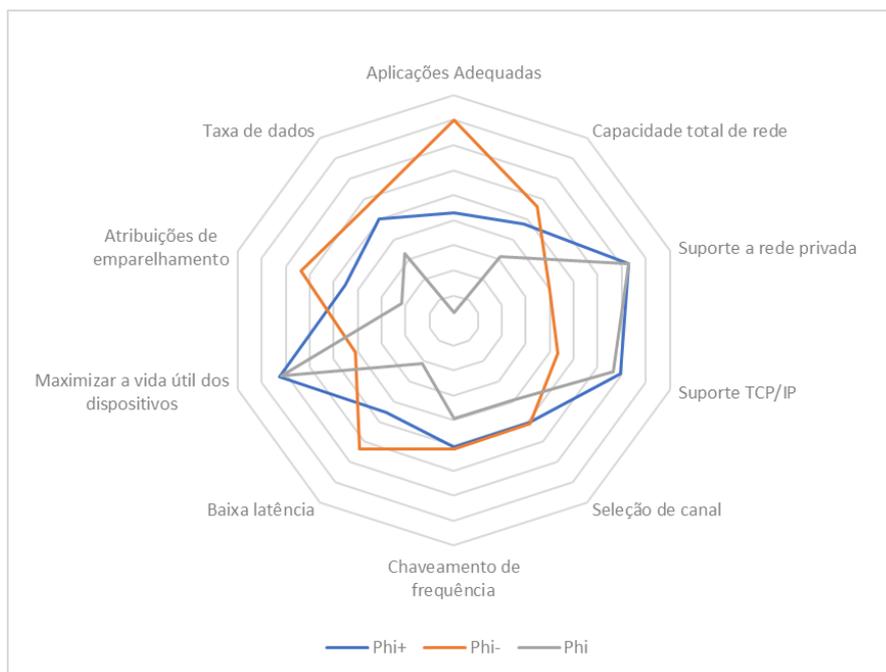


Figura 52 – Valores de Phi para requisitos funcionais de Process Tecnológico.

FONTE: O AUTOR.

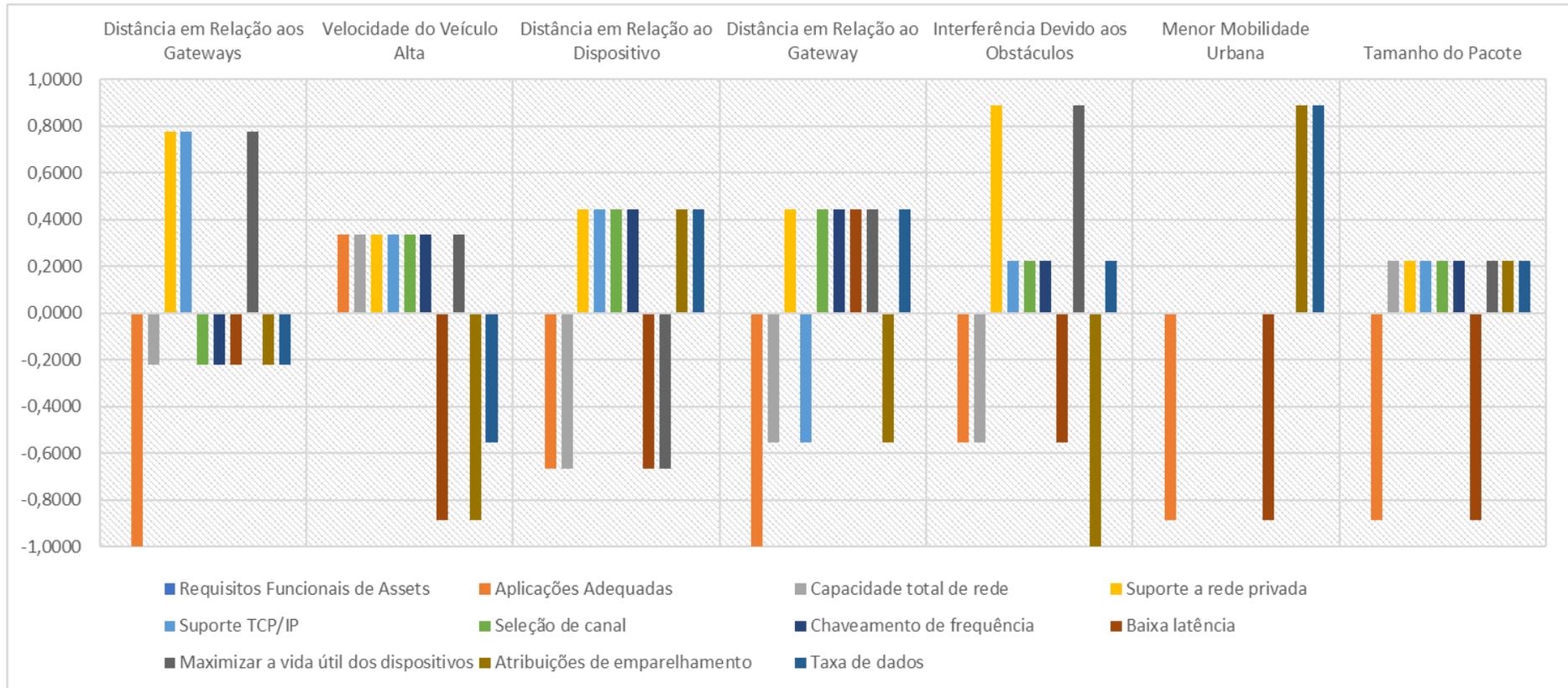


Figura 53 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de *Process Tecnológico* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

### 5.4.3.2 Camada de Integração (*Integration*)

A camada de integração tem como função encaminhar os dados que estão sendo emitidos pelos dispositivos até os *gateways* de forma que eles possam enviar as informações até um servidor na nuvem. Com base nos elementos coletados na literatura, identificou-se que as barreiras de interoperabilidade mais condizentes com os requisitos funcionais de integração são as de serviços do tipo tecnológico. O atributo “Tecnologia LPWAN” detém como critério os *end nodes*, que são os sensores instalados nas embalagens para fazer o rastreamento delas. Por fim, este possui cinco subcritérios que contém as principais barreiras a serem mensuradas na execução do experimento. A Tabela 67 apresenta o agrupamento de informações previamente descrito.

Barreiras de Interoperabilidade	Tipo	Atributos	Peso	Critérios	Peso	Subcritérios	Peso
Serviços	Tecnológico	Tecnologia LPWAN	1,00000	<i>End-Nodes</i>	1,00000	Capacidade limitada de sistemas de segurança	0,34751
						Desligamento dos switches RF	0,06470
						Limite de resolução do <i>timestamp</i>	0,12014
						Sistema de localização de baixa potência	0,34751
						Variação de hardware e recursos	0,12014

Tabela 67 – Pesos dos atributos e critérios de *Services*.

FONTE: O AUTOR.

Através da ponderação dos subcritérios, verifica-se dois elementos que estão diretamente associados com a avaliação realizada na seção 5.4.3.1. Ambos apresentam o mesmo peso, ou seja, o mesmo nível de importância frente os padrões da organização. A “Capacidade Limitada de Sistemas de Segurança” aponta para uma limitação significativa em termos da segurança das informações que estão sendo coletadas. Os *end nodes* são compostos por recursos técnicos simples o que resulta num custo baixo para viabilizar a solução. Qualquer customização adicional que envolva aspectos de segurança, tendem a elevar o valor do produto gerando um impacto na despesa que a organização terá e, conseqüentemente, haverá maior dificuldade em se obter o *Rol (Return of Investment)* em um curto prazo. Em um caráter de

experimentação, poderá haver procedimentos alternativos que a própria área de TI tem possibilidade de assumir. Entretanto, para fins de projeto, essa barreira merece uma maior atenção por parte dos gerentes de projeto. “Sistemas de Verificação de Baixa Potência” envolve limitações técnicas quanto ao tempo no envio dos dados de localização. Para melhor mensurá-la, é necessário acompanhar e coletar os primeiros testes experimentais para se ter uma real visão do tamanho do impacto ao cliente final. Em uma análise preliminar, percebe-se que este item requer um aprofundamento mais detalhado. A Figura 54 demonstra a representação gráfica dos valores da Tabela 67.

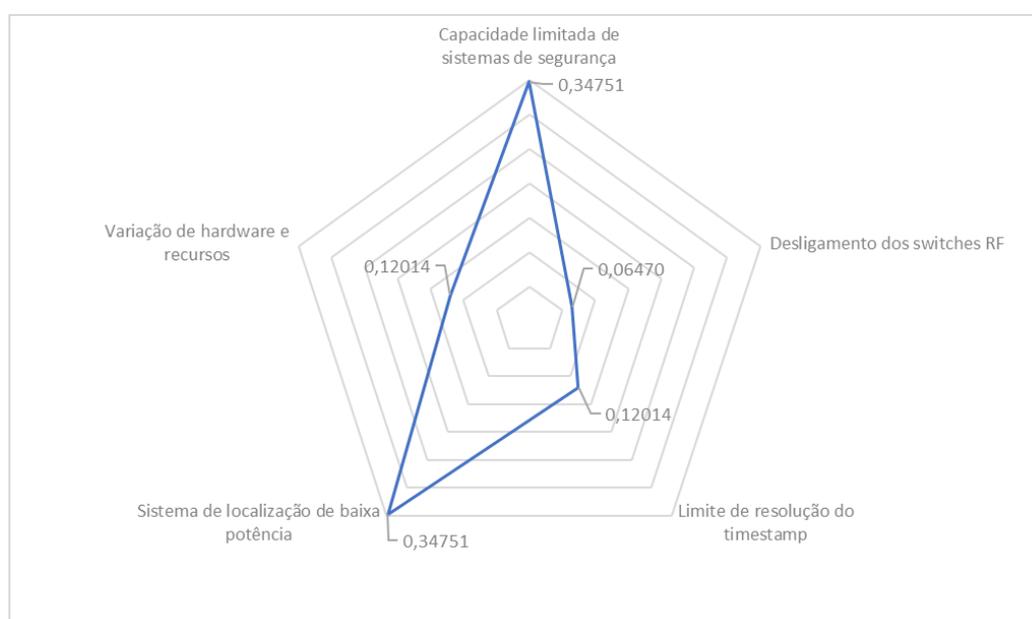


Figura 54 – Pesos dos subcritérios do atributo Tecnologias LPWAN.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 68 apresenta dos dados finais de Phi após a análise via quadro relacional no Promethee. Destacam-se como os que demonstraram os melhores resultados os critérios “Requisitos de *Hardware* e *Software*” e “Fácil Gerenciamento de Dispositivos”. Ambos estão diretamente associados, uma vez que a simplicidade da composição de *software* e *hardware* das soluções IoT LPWAN permitem com que os dispositivos sejam gerenciados de forma prática e interoperáveis com qualquer sistema. As funcionalidades que sofrem forte impacto das barreiras listadas são “Complexidade de Desenvolvimento” e “Interface de Comunicação e Efeitos de Tráfego”. A complexidade que se tem para realizar o devido desenvolvimento é oriunda das características do

processo que tem certas particularidades, muitas vezes difíceis de serem mapeadas. Aspectos que detêm a conectividade acabam atrasando algumas tomadas de decisão interferindo significativamente nos prazos de conclusão do experimento. Além disso, há um efeito gerado no tráfego de dados dependendo da área de cobertura ou de aonde se encontra o *end node*. Esses elementos têm participação ativa na composição do sucesso da Prova de Conceito. A Figura 59 apresenta os valores de Phi de forma gráfica.

Cálculo Phi			
Requisitos Funcionais de <i>Integration</i>	Phi+	Phi-	Phi
Escalabilidade	0,4280	0,3270	0,1010
Complexidade de desenvolvimento	0,1590	0,5050	-0,3460
Instância de gerenciamento de recursos	0,2530	0,2920	-0,0390
Interface de comunicação e efeitos de tráfego	0,0940	0,6340	-0,5400
Mecanismos de segurança	0,2050	0,3640	-0,1590
Qualidade de Serviço (QoS)	0,3100	0,1540	0,1560
Requisitos de <i>hardware</i> e <i>software</i>	0,6160	0,1430	0,4730
Suporte em produtos comerciais atuais	0,3100	0,1540	0,1560
Complexidade de implementação	0,2530	0,2920	-0,0390
Acesso a dados históricos eficientemente	0,2530	0,2920	-0,0390
Fácil gerenciamento de dispositivos	0,3580	0,0820	0,2760

Tabela 68 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de *Service Tecnológico*.

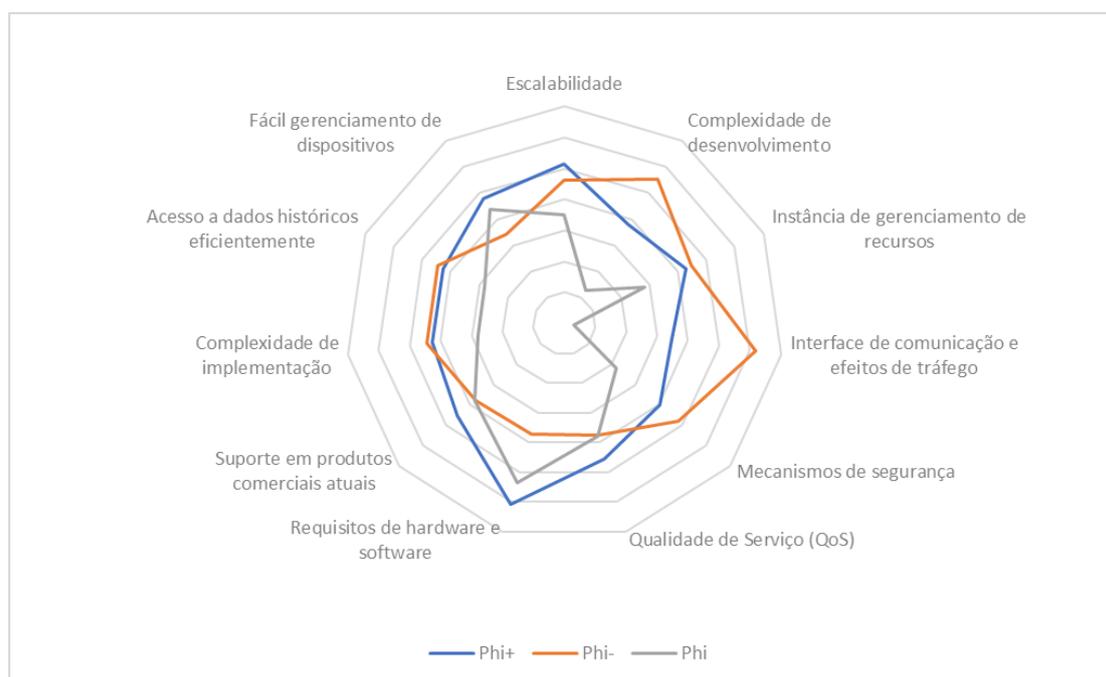
FONTE: O AUTOR.

A Tabela 69 destaca o nível de impacto que as barreiras oferecem para cada requisito funcional avaliado. “Variação de *Hardware* e Recursos” detém o maior conjunto de Phi negativo. Percebe-se que os valores predominam mais em requisitos vinculados a conectividade, qualidade na troca de informações e configurações de segurança. Em “Capacidade Limitada de Sistemas de Segurança”, tem-se uma boa visão do quando essa barreira impacta nos critérios “Escalabilidade”, “Complexidade de Desenvolvimento”, “Instância de Gerenciamento de Recursos” e “Interface de Comunicação e Efeitos de Tráfego” que são determinantes para uma tomada de decisão, sob o ponto de vista técnico. A Figura 56 representa os valores contidos na Tabela 69 graficamente.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b> <b>Requisitos Funcionais de <i>Integration</i></b>	Capacidade limitada de sistemas de segurança	Desligamento de <i>Switches</i> RF	Limite de resolução do <i>timestamp</i>	Sistema de localização de baixa potência	Varição de hardware e recursos
Escalabilidade	-0,9000	0,1000	0,2000	1,0000	0,3000
Complexidade de desenvolvimento	-0,9000	0,1000	-0,9000	0,1000	0,3000
Instância de gerenciamento de recursos	-0,4000	0,1000	0,2000	0,1000	0,3000
Interface de comunicação e efeitos de tráfego	-0,4000	-1,0000	0,2000	-0,8000	-0,7000
Mecanismos de segurança	0,5000	0,1000	0,2000	-0,8000	-0,7000
Qualidade de Serviço (QoS)	0,5000	0,1000	0,2000	0,1000	-0,7000
Requisitos de hardware e software	0,5000	0,1000	-0,9000	0,8000	1,0000
Suporte em produtos comerciais atuais	0,5000	0,1000	0,2000	0,1000	-0,7000
Complexidade de implementação	0,5000	0,1000	0,2000	-0,8000	0,3000
Acesso a dados históricos eficientemente	-0,4000	0,1000	0,2000	0,1000	0,3000
Fácil gerenciamento de dispositivos	0,5000	0,1000	0,2000	0,1000	0,3000

Tabela 69 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de *Service Tecnológico*.

FONTE: O AUTOR.



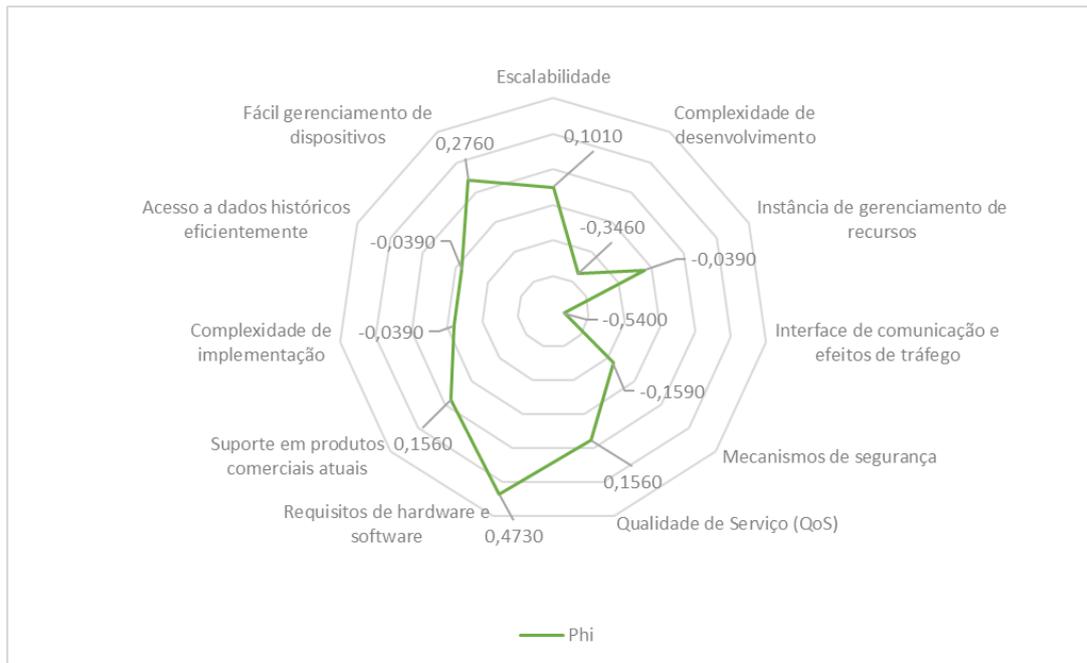


Figura 55 – Valores de Phi para requisitos funcionais de *Service Tecnológico*.

FONTE: O AUTOR.

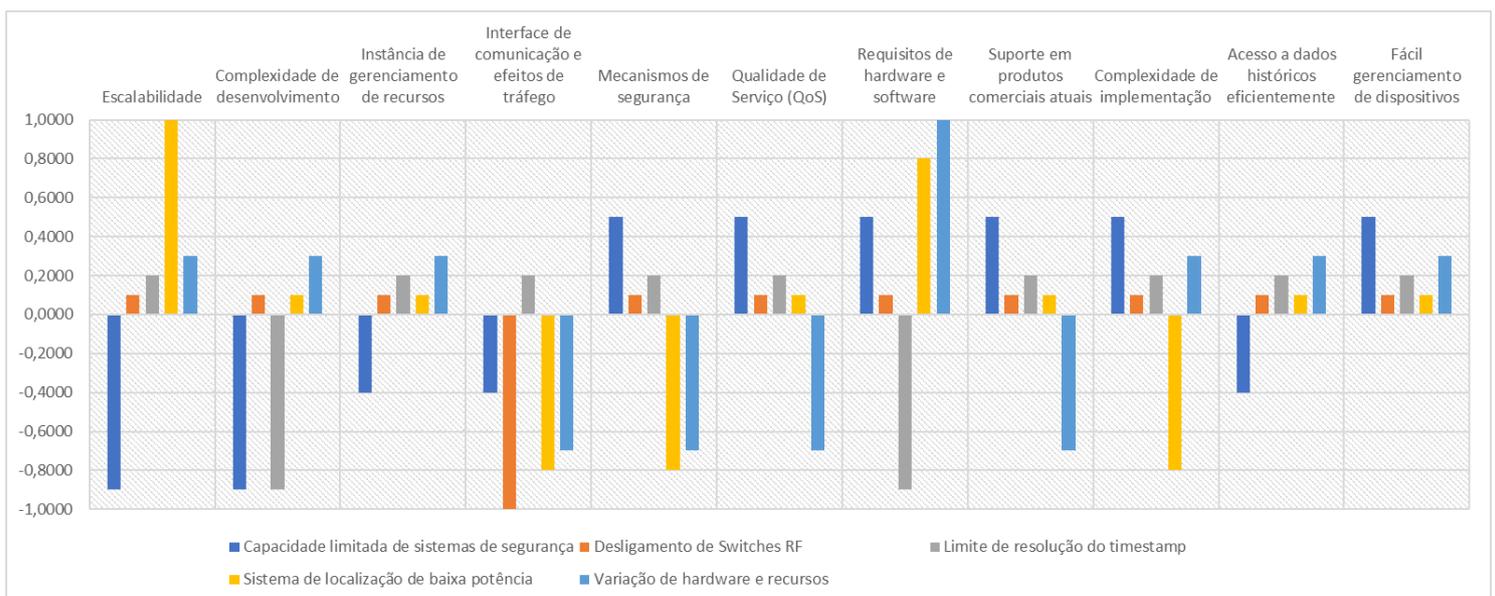


Figura 56 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de *Service Tecnológico* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.4.3.3 Camada de Comunicação (*Communication*)

As barreiras de interoperabilidade de dados do tipo tecnológico foram melhor correlacionadas com os componentes pertencentes ao *layer* de comunicação devido a interface com o servidor na nuvem. Foram delimitados alguns critérios que relacionam os protocolos de comunicação mais usuais para esta demanda: CoAP e MQTT. Ambos têm um peso equivalente visto que suas funcionalidades são similares. O que os diferencia é a forma de declarar as variáveis e de formalizar a comunicação com o servidor externo. Por exemplo, CoAP depende muito do tipo de aplicação que se quer desenvolver e isso impacta consideravelmente na velocidade de transmissão das informações. No caso do MQTT, embora tenha problemas de performance, pode ser considerado mais interoperável que o CoAP. Seus principais elementos são a forma como se operacionaliza o *setup*. Dependendo do tipo de dado a ser transitado, haverá dificuldades do envio correto no tempo determinado da informação. A Tabela 70 apresenta os pesos que cada subcritério dos protocolos mencionados detém para constituir a análise. A representação gráfica de tais elementos está disponível nas Figura 57 e 58.

Barreiras de Interoperabilidade	Tipo	Atributos	Peso	Critérios	Peso	Subcritérios	Peso
Data	Tecnológico	Protocolos de Comunicação	1,00000	CoAP	0,50000	Tipo de aplicação	0,37500
				MQTT	0,50000	Transmissão em alta velocidade	0,12500
						Utilidade	0,20803
						Conceito do broker	0,06300
						Serviço de nuvem	0,22897

Tabela 70 – Pesos dos atributos e critérios de *Data* Tecnológico.

FONTE: O AUTOR.

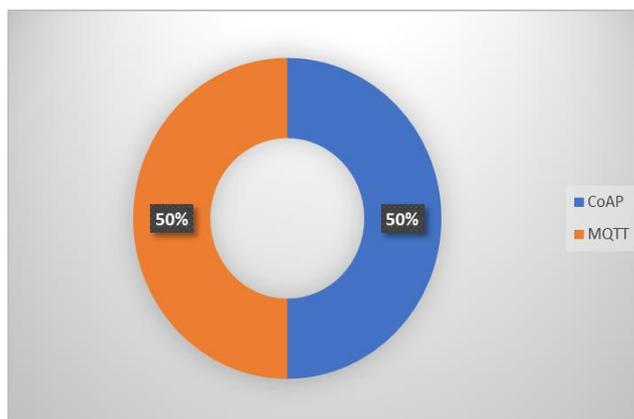


Figura 57 – Pesos dos critérios do atributo Protocolos de Comunicação.

FONTE: O AUTOR.

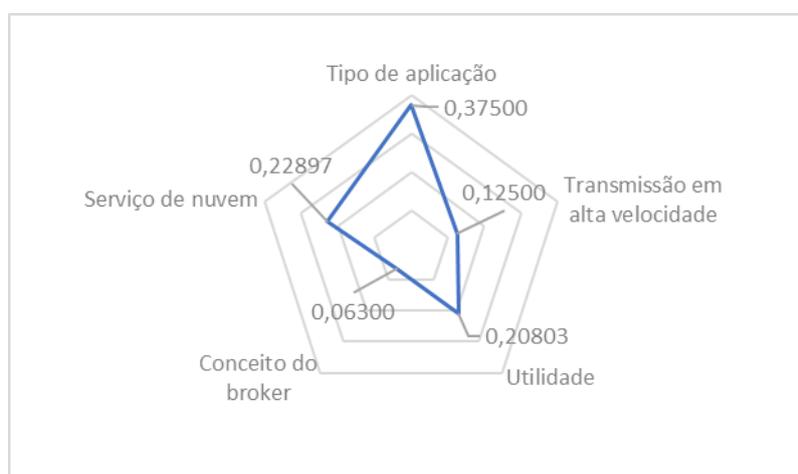


Figura 58 – Pesos dos subcritérios do atributo Protocolos de Comunicação.

FONTE: O AUTOR.

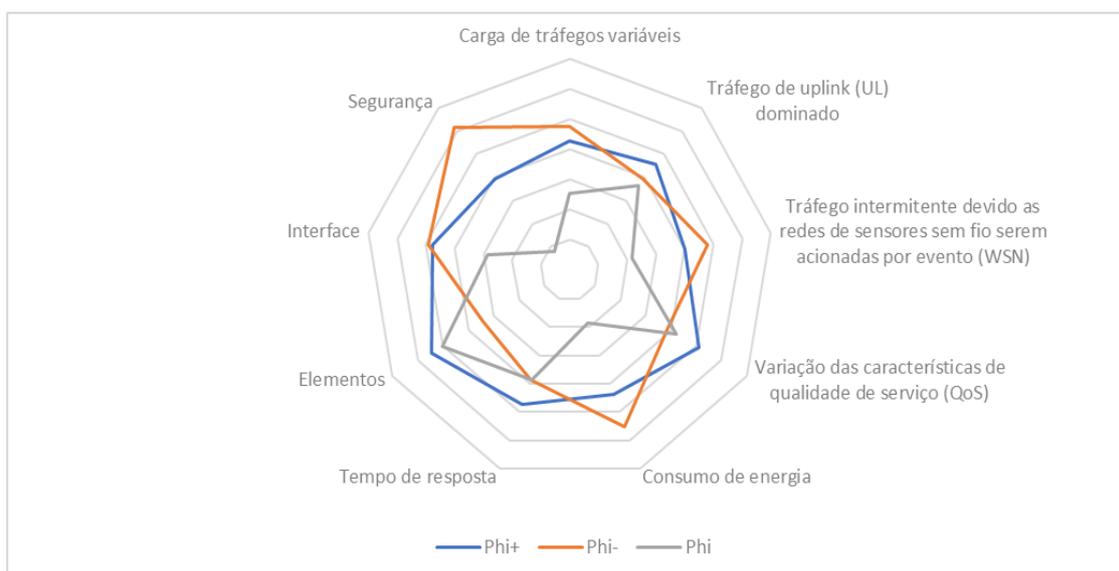
Com base nas informações contidas na Tabela 71, verifica-se que os requisitos funcionais denominados “Elementos”, “Variação de Características de QoS” e “Tempo de Resposta” tiveram os melhores valores de Phi. O primeiro está vinculado aos conceitos do *broker*, um recurso técnico característico do protocolo MQTT. O segundo é voltado a performance na troca de informações utilizando as definições já bem consolidadas de qualidade de serviço (QoS). O terceiro está relacionado ao tempo de resposta quando o dado chega no servidor na nuvem confirmando que a operação foi executada de forma correta. Em contrapartida, o requisito de “Segurança” permanece sendo crítico quando se trata de comunicação com servidores externos, sobretudo quando há camadas de *firewall* implementadas pela organização. As políticas de segurança impostas pela TI vislumbram mais a implementação de

projetos digitais cujo o foco envolve dados de fabricação. Para o contexto da PoC em questão, ainda não há uma definição clara sobre esse tema. Mesmo assim, o item segurança deve ser priorizado quando a solução atingir um nível de escalabilidade desejado. A Figura 59 apresenta os valores de Phi da Tabela 71.

Cálculo Phi			
Requisitos Funcionais de <i>Communication</i>	Phi+	Phi-	Phi
Carga de tráfegos variáveis	0,2576	0,3535	-0,0960
Tráfego de <i>uplink</i> (UL) dominado	0,3144	0,1831	0,1313
Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN)	0,1970	0,3598	-0,1629
Variação das características de qualidade de serviço (QoS)	0,4205	0,1742	0,2462
Consumo de energia	0,2765	0,5038	-0,2273
Tempo de resposta	0,3447	0,1755	0,1692
<b>Elementos</b>	<b>0,4912</b>	<b>0,0795</b>	<b>0,4116</b>
Interface	0,3535	0,3838	-0,0303
<b>Segurança</b>	<b>0,1894</b>	<b>0,6313</b>	<b>-0,4419</b>

Tabela 71 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de *Data Tecnológico*.

FONTES: O AUTOR.



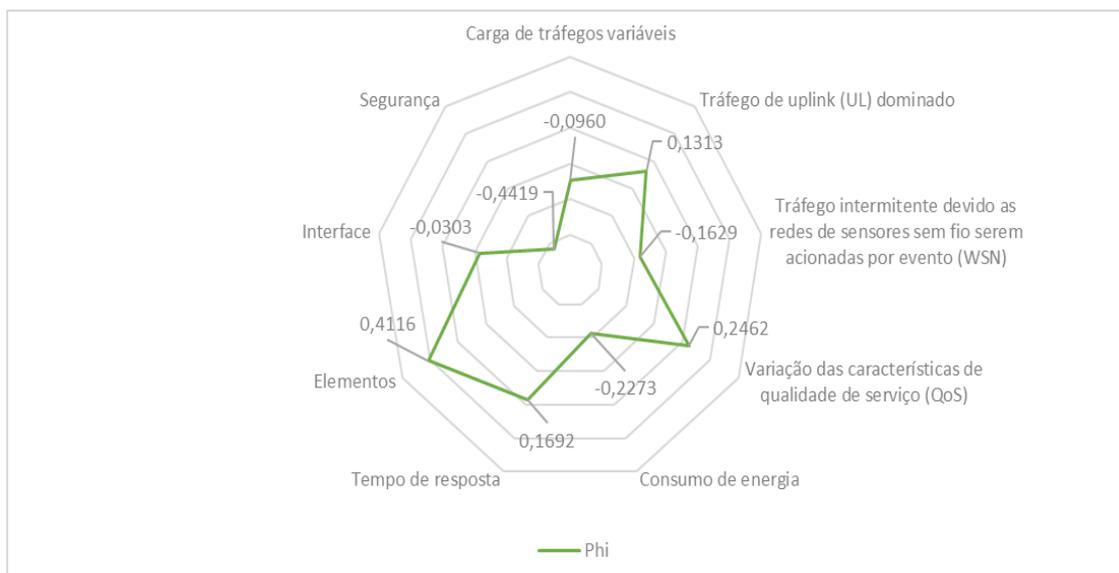


Figura 59 – Valores de Phi para requisitos funcionais de *Data Tecnológico*.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 72 detém os valores de Phi obtidos para cada barreira de interoperabilidade avaliada. Ressalta-se a influência que o “Conceito do *Broker*” e o “Serviço de Nuvem” fazem na análise frente aos critérios de tráfego de informações e desempenho da resposta. A Figura 60 apresenta o gráfico com todos os elementos pertencentes a Tabela 72.

Barreiras de Interoperabilidade	Tipo de Aplicação	Transmissão em Alta Velocidade	Utilidade	Conceito do Broker	Serviço de Nuvem
<b>Requisitos Funcionais de Communication</b>					
Carga de tráfegos variáveis	0,3750	-0,1250	-1,0000	-0,6250	0,1250
Tráfego de uplink (UL) dominado	0,3750	-0,1250	-0,2500	0,5000	0,1250
Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN)	0,3750	-0,8750	-0,2500	0,5000	-0,7500
Variação das características de qualidade de serviço (QoS)	0,3750	0,7500	0,7500	0,5000	-0,7500
Consumo de energia	-0,6250	-0,8750	-0,2500	-0,6250	0,8750
Tempo de resposta	0,3750	0,7500	-0,2500	-0,6250	0,1250
Elementos	0,3750	0,7500	-0,2500	0,5000	0,8750
Interface	-0,6250	-0,1250	0,7500	0,5000	0,1250
Segurança	-1,0000	-0,1250	0,7500	-0,6250	-0,7500

Tabela 72 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de *Data Tecnológico*.

FONTE: O AUTOR.

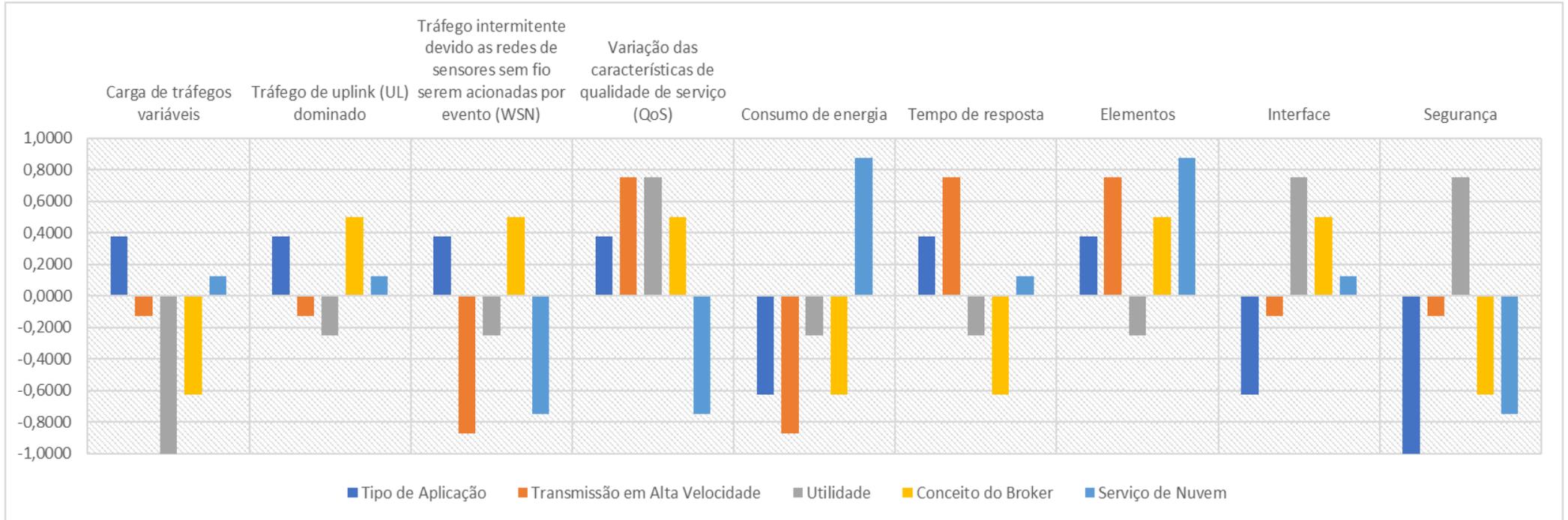


Figura 60 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de *Data Tecnológico* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.4.3.4 Camada de Informação (*Information*)

A camada de *Information* possui uma forte relação com a forma com que os dados são compartilhados. Na seção 5.4.3.3 foi comentado sobre as barreiras que envolvem os protocolos de comunicação que enviam as informações coletadas através dos sensores IoT para a nuvem – caracterizando a camada de comunicação. Entretanto, esses dados precisam ser armazenados em um formato padrão e encaminhados ao local definido. Embora tecnicamente seja uma operação simples, há alguns elementos que precisam ser levados em consideração. A Tabela 73 apresenta algumas barreiras de interoperabilidade de dados do tipo semântico que se correlacionam com a camada de Integração. O atributo definido foi “Tecnologia LoRa” fazendo referência a uma tecnologia específica de LPWAN. O único critério pertinente levantado na literatura faz menção a escalabilidade. Ela é composta por três subcritérios que tratam do formato do envio das informações. Dentre eles, foi considerado o mais importante para o contexto da PoC o que envolve os distintos modos de comunicação dos dados através de linguagens bastante usuais como JSON, XML e Node-Red. Apesar de haver características similares, existe pequenos pontos que podem impactar na fase de análise dos dados armazenados (camada de *Functional*). A Figura 61 apresenta graficamente os valores constados na Tabela 73.

Barreiras de Interoperabilidade	Tipo	Atributos	Peso	Critérios	Peso	Subcritérios	Peso
Data	Semântico	Tecnologia LoRa	1,00000	Escalabilidade	1,00000	Análise detalhada da comunicação LoRa	0,50000
						Necessidade de adicionar o ADR aos recursos de software	0,25000
						Taxas de dados adaptativas (ADR) não suportadas	0,25000

Tabela 73 – Pesos dos atributos e critérios de *Data Semântico*.

FONTE: O AUTOR.

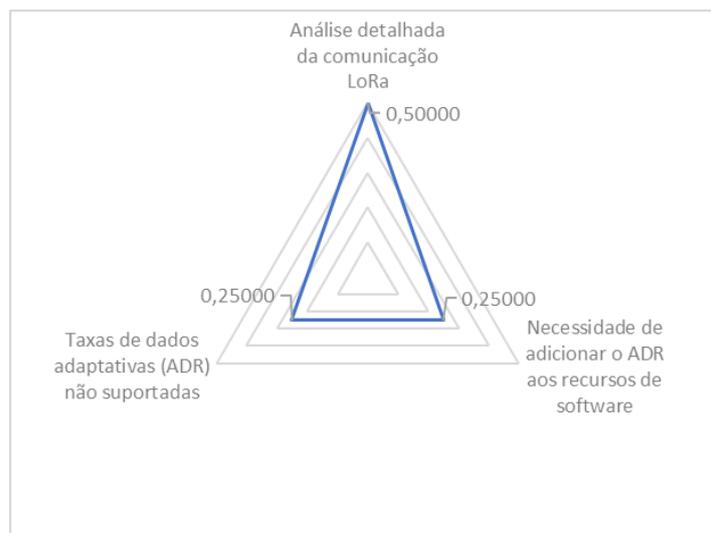


Figura 61 – Pesos dos subcritérios do atributo Tecnologias LoRa.

FONTE: O AUTOR.

Com base nos valores de Phi da Tabela 74, percebe-se que há dois requisitos que se contrapõem, porém deveriam estar caminhando na mesma direção. O item “Permite Conexão entre *Gateway e Plataforma IoT*” mostra que a empresa detém ferramentas necessárias para fazer esse tipo de otimização com os dados através da linguagem e software denominado Node-Red. Tal fato reduziria a interface entre diferentes sistemas. Porém, foi constatado uma limitação em relação a estrutura em que as informações deveriam ser enviadas. Sendo assim, não havia flexibilidade na forma como esses elementos precisavam ser encaminhados, criando assim um ponto de engessamento para com a otimização dos dados. O formato dos mesmos segue um padrão já pré-estabelecido pela matriz e poderá resultar em complicações se o case ganhar escalabilidade. A Figura 63 representa os valores de Phi citados na Tabela 74.

Cálculo Phi			
	Phi+	Phi-	Phi
<b>Requisitos Funcionais de <i>Information</i></b>			
Flexível	0,1250	0,6563	-0,5313
Gerenciamento de mobilidade	0,1875	0,4688	-0,2813
Serviço de assinante doméstico	0,1875	0,2500	-0,0625
<i>WebSockets</i>	0,1875	0,2500	-0,0625
Tipo de Dados	0,1250	0,4375	-0,3125
Localização	0,1875	0,2500	-0,0625
Status	0,3125	0,0938	0,2188
Tempo	0,3125	0,0938	0,2188
Permite conexão entre <i>gateway</i> e plataforma IoT	0,8750	0,0000	0,8750

Tabela 74 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de *Data Semântico*.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 75 apresenta a avaliação de cada barreira identificada com os requisitos funcionais que definem a camada de informação. A Figura 62 apresenta os mesmos números em gráfico de barras.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>	Análise Detalhada da Comunicação LoRa	Necessidade de adicionar o ADR aos recursos de software	Taxas de Dados Adaptativas (ADR) não suportadas
<b>Requisitos Funcionais de <i>Information</i></b>			
Flexível	-0,8750	0,5000	-0,8750
Gerenciamento de mobilidade	-0,8750	0,5000	0,1250
Serviço de assinante doméstico	0,1250	-0,6250	0,1250
<i>WebSockets</i>	0,1250	-0,6250	0,1250
Tipo de Dados	0,1250	-0,6250	-0,8750
Localização	0,1250	-0,6250	0,1250
Status	0,1250	0,5000	0,1250
Tempo	0,1250	0,5000	0,1250
Permite conexão entre <i>gateway</i>	1,0000	0,5000	1,0000

Tabela 75 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de *Data Semântico*.

FONTE: O AUTOR.

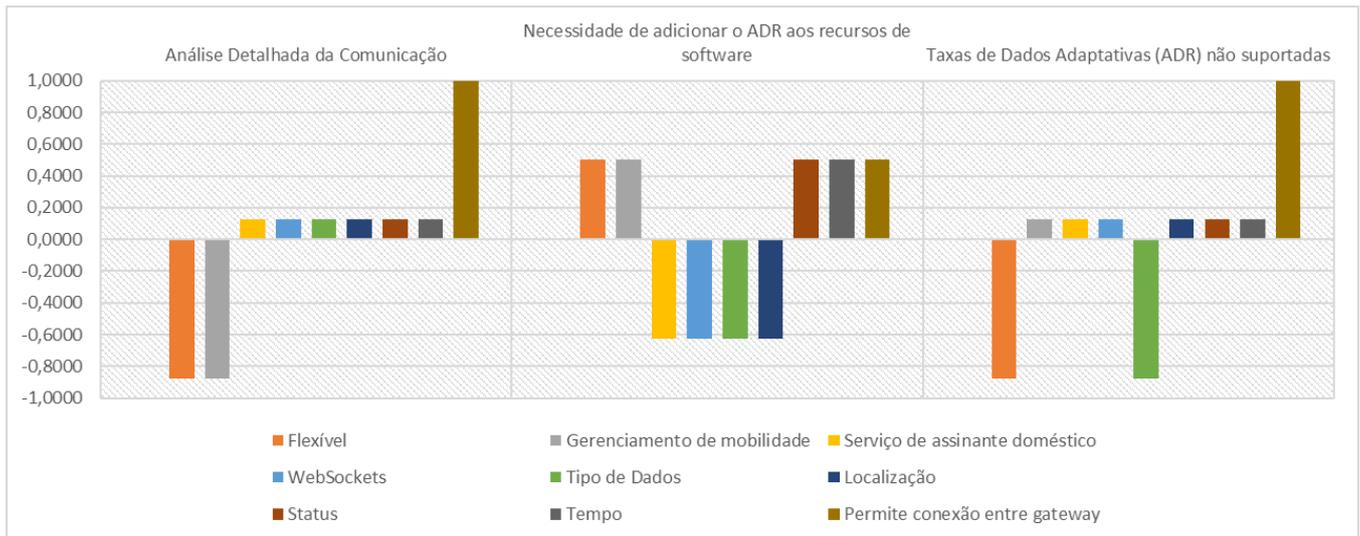
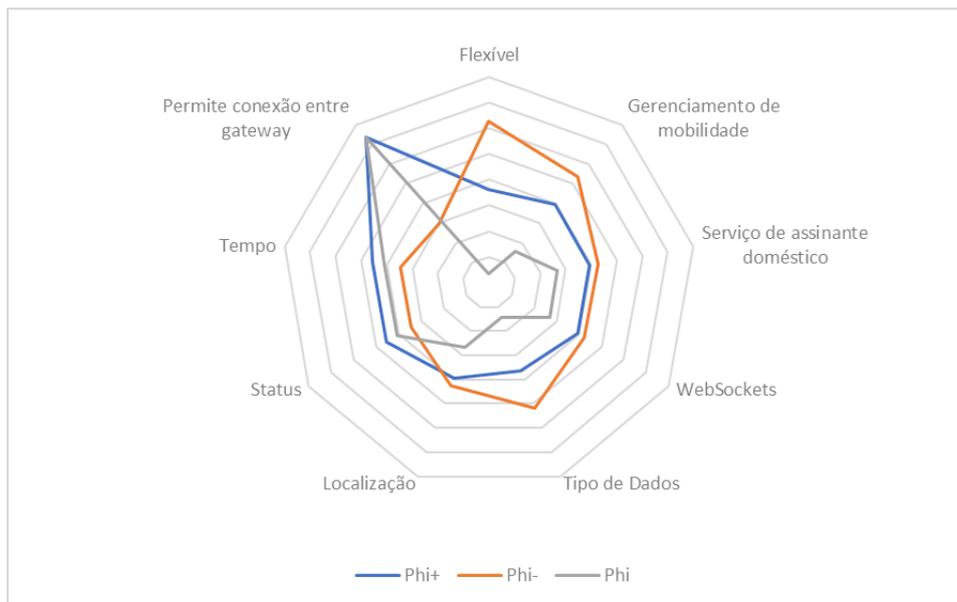


Figura 62 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de Data Semântico avaliado.

FONTE: O AUTOR.



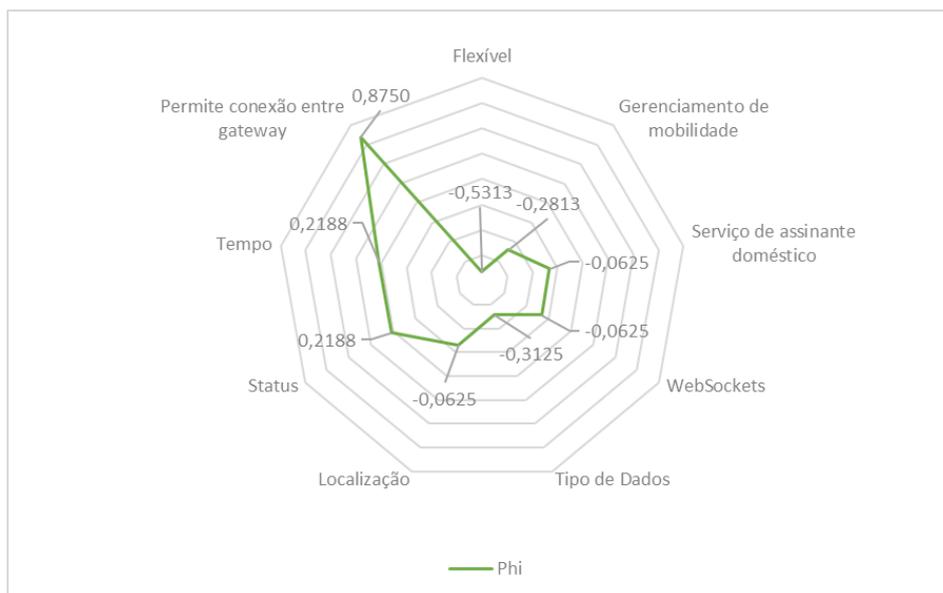


Figura 63 – Valores de Phi para requisitos funcionais de Data Semântico.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.4.3.5 Camada de Funções (*Functional*)

As plataformas IoT, e todo o gerenciamento de informações que elas contêm, fazem parte da camada *Functional*. Sob o ponto de vista técnico, esse é o último nível onde o usuário final poderá visualizar os dados em *dashboards* para que o monitoramento das embalagens seja realizado em tempo real. A medida que o armazenamento das informações for sendo feito, torna-se possível operacionalizar a previsão para antecipar determinadas demandas a serem feitas que impactam no andamento do processo logístico. Por envolver aspectos de gestão e de interpretação conceitual, verificou-se que a categorização de *business* do tipo organizacional é a mais pertinentes para a avaliação. Os valores apresentados na Tabela 76 correspondem a visão da organização frente aos critérios levantados para os atributos que correlacionam as plataformas IoT com o *case* em questão. Destaca-se a necessidade de se ter uma visão completa do *business case*, sobretudo para que seja mapeado todas as limitações possíveis do processo. Tal elemento tem forte impacto na tomada de decisão dos gestores que apresentam uma expectativa alta quando se mensura o retorno do investimento. A Figura 64 representa o nível de relevância dos critérios considerados sob o ponto de vista gráfico.

Barreiras de Interoperabilidade	Tipo	Atributos	Peso	Crítérios	Peso
<i>Business</i>	Organizacional	Plataformas IoT	1,00000	Escalabilidade	0,07073
				Estabilidade	0,07073
				Flexibilidade	0,07073
				Protocolos	0,07073
				<b>Business case</b>	<b>0,23500</b>
				Modelo de preços	0,13712
				Serviço demandado	0,13712
				Tipo de hardware	0,07073
				Visualização de dados	0,13712

Tabela 76 – Pesos dos atributos e critérios de *Business* Organizacional.

FONTE: O AUTOR.

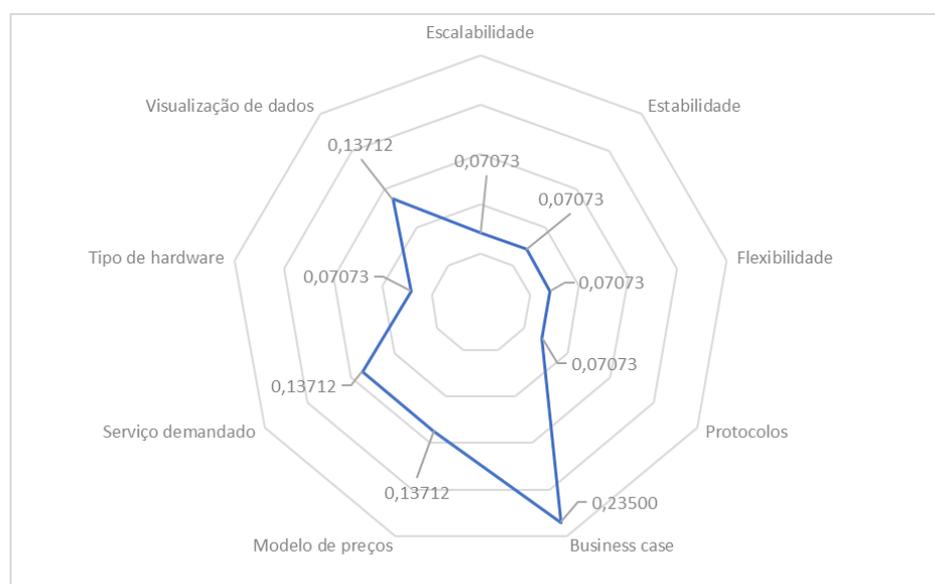


Figura 64 – Critérios do atributo Plataforma IoT.

FONTE: O AUTOR.

Com base nas informações listadas na Tabela 76, tem-se os requisitos funcionais que mais sofrem influência com as barreiras existentes na organização. O item “Tipos de *Analytics*” deteve o maior valor de Phi corroborando com a importância do mesmo e que a empresa tem dado a atenção para o trabalho que envolva a análise de dados com os recursos técnicos apropriados. De forma análoga, “Protocolos para Coleta de Informações” e “Suporte para Visualização” suportam esta demanda propagando de forma visual os elementos coletados ao cliente final. Por outro lado, tem-se “Eficiência do Processo” que possui o menor valor de Phi. Isso se deve pelos *gaps* existentes no processo logístico de transporte de componentes automotivos, usando os *racks*, onde há a presença de outras

variáveis não inclusas na PoC de Rastreabilidade de Embalagens, mas que tem potencial de impacto na implementação do experimento. Um exemplo que demonstra isso é a falta de interoperabilidade entre os sistemas de gestão logística onde certas informações não são acompanhadas de maneira devida, gerando perdas em outras áreas. Por fim, sob uma visão mais técnica, tem-se o “Controle de Redes IoT” que se subentende que deve ser responsabilidade da TI, mas ainda não há um planejamento formal constituído para tal. A Figura 65 representa os valores de Phi presentes na Tabela 77.

Cálculo Phi			
Requisitos Funcionais de <i>Functional</i>	Phi+	Phi-	Phi
Integração	0,2100	0,5043	-0,2943
Protocolos de Segurança	0,2486	0,5514	-0,3029
Dispositivos de Gerenciamento	0,4714	0,3186	0,1529
Protocolos para coleta de informações	0,7343	0,0800	0,6543
Suporte para visualização	0,6543	0,1500	0,5043
Tipos de <i>Analytics</i>	0,7443	0,0600	0,6843
Controle de redes IoT	0,0700	0,7243	-0,6543
Eficiência do Processo	0,0400	0,7843	-0,7443

Tabela 77 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de *Business* Organizacional.

FONTE: O AUTOR.

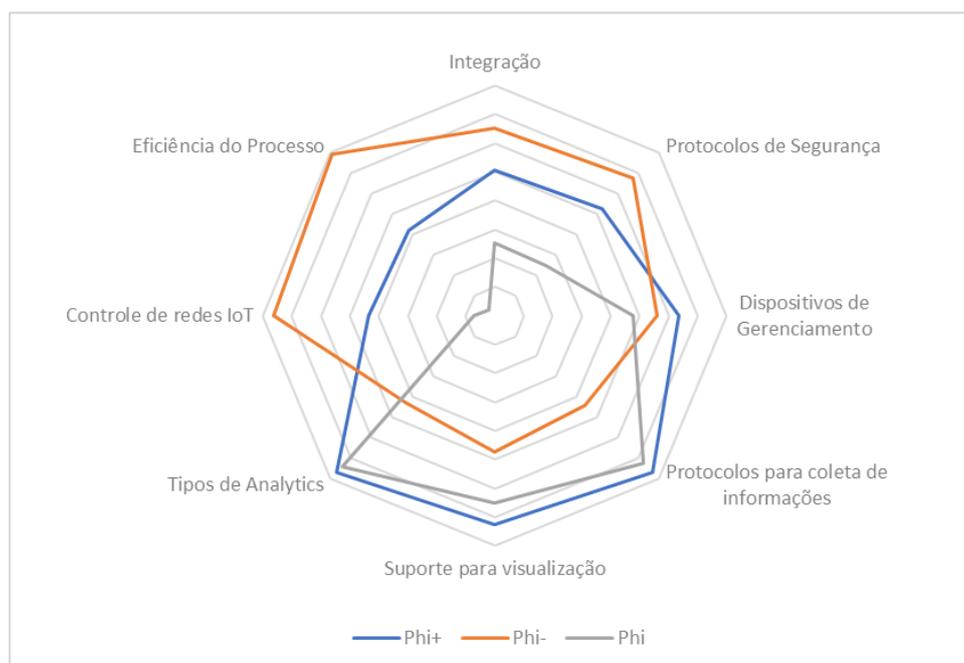
A Tabela 78 apresenta os valores de Phi que cada barreira impôs aos requisitos funcionais de *Functional*. “Flexibilidade” segue como sendo um dos pontos mais sensíveis determinantes para a escolha de uma solução tecnológica quando se menciona aspectos ligados a segurança, definição de dispositivos de gerenciamento, infraestrutura e variáveis do processo. Corroborando com isso tem-se “*Business Case*” que tem efeitos negativos na integração entre sistemas e dispositivos. Ou seja, quanto mais complexo for o processo, a tendência é de que a implementação se torne mais difícil a ponto de ser julgada a viabilidade de certas plataformas. Por fim, as definições que caracterizam o tipo de *hardware* a ser usado tem interferência nos protocolos de segurança que as plataformas IoT utilizam e nos tipos de dispositivos a serem optados na aplicação. A Figura 66 representa graficamente os valores de Phi pertencentes a Tabela 78.

Barreiras de Interoperabilidade	Escalabilidade	Estabilidade	Flexibilidade	Protocolos	Business Case	Modelo de Preços	Serviço Demandado	Tipo de Hardware	Visualização de Dados
<b>Requisitos Funcionais de Funcional</b>									
Integração	-0,5714	-0,1429	0,4286	0,0000	-0,7143	-0,4286	-0,2857	-0,1429	0,0000
Protocolos de Segurança	0,0000	-0,1429	-0,5714	-0,8571	-0,1429	-0,4286	-0,2857	-0,8571	0,0000
Dispositivos de Gerenciamento	0,7143	0,7143	-0,5714	0,0000	0,1429	0,4286	0,4286	-0,8571	0,0000
Protocolos para coleta de informações	0,7143	-0,1429	0,4286	1,0000	0,7143	0,4286	0,8571	1,0000	0,7143
Suporte para visualização	0,0000	0,7143	0,4286	0,0000	0,7143	0,4286	0,1429	0,5714	1,0000
Tipos de Analytics	0,7143	0,7143	1,0000	0,7143	0,7143	1,0000	0,8571	0,5714	0,0000
Controle de redes IoT	-0,5714	-0,8571	-0,5714	-0,8571	-0,7143	-0,4286	-0,8571	-0,1429	-0,7143
Eficiência do Processo	-1,0000	-0,8571	-0,5714	0,0000	-0,7143	-1,0000	-0,8571	-0,1429	-1,0000

Tabela 78 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de *Business*

Organizacional.

FONTE: O AUTOR.



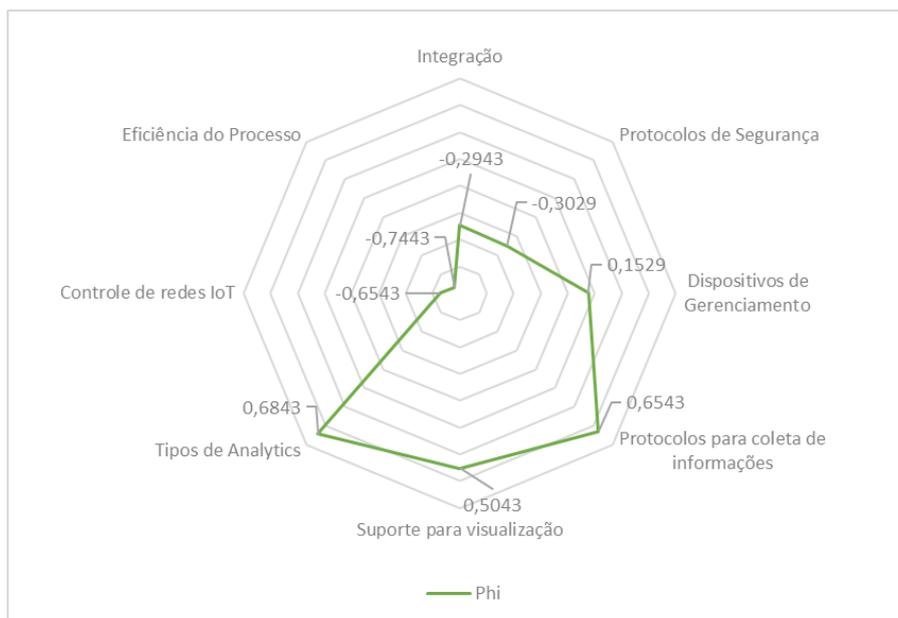


Figura 65 – Valores de Phi para requisitos funcionais de Business Organizacional.

FONTE: O AUTOR.

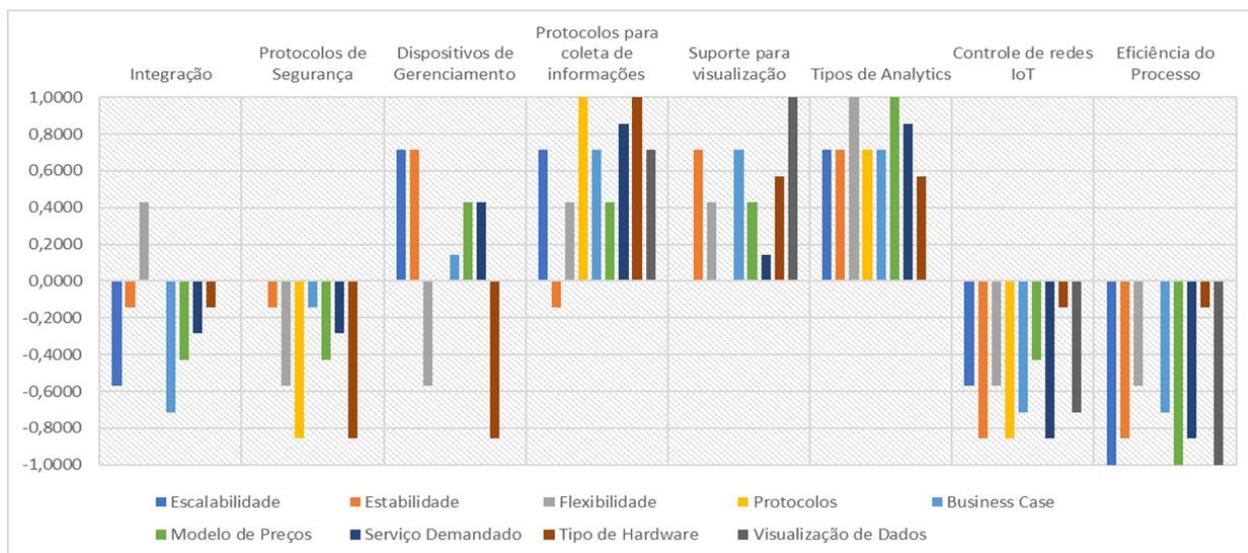


Figura 66 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de Business Organizacional avaliado.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.4.3.6 Camada de Decisão (*Business*)

A última camada descrita no *framework* RAMI 4.0 denominada *Business* faz referência aos benefícios que se pode obter com o uso correto das tecnologias definidas nas camadas anteriores. Normalmente, esses possíveis ganhos são acompanhados de perto por profissionais envolvidos na gestão estratégica da organização com a finalidade de observar como está sendo feita a execução, sobretudo em relação aos recursos técnicos adotados, e poder expandir tais conceitos para outros sites que demonstrem interesse. Sendo assim, é fundamental que um levantamento técnico apurado seja realizado para que se tenha uma visão das dificuldades de implementação de determinado conceito. A Tabela 79 apresenta as barreiras de interoperabilidade de *Business* direcionadas a aspectos técnicos e de interpretação semântica. Destacam-se com a maior ponderação “Comunicação”, “Limitações” e “Solução LPWAN” para o atributo “Tecnologias LPWAN”. Em relação ao atributo “Plataformas Abertas”, tem-se a “Menção Errônea sobre a Capacidade de gerar Ganhos” onde se aborda critérios comerciais sobre custos que não são divulgados de forma clara para as empresas que desejam usar o serviço de gerenciamento de dados vindos dos sensores IoT. As Figuras 67 e 68 apresentam graficamente os critérios da Tabela 79.

Barreiras de Interoperabilidade	Tipo	Atributos	Peso	Critérios	Peso
<i>Business</i>	Tecnológico	Tecnologias LPWAN	1,00000	Comunicação	0,28571
				End devices	0,14286
				Limitações	0,28751
	Semântico	Plataformas abertas	1,00000	Solução LPWAN	0,28751
				Menção errônea sobre capacidade de gerar ganhos	0,80000
				Não contém todos os recursos operacionais mandatórios	0,20000

Tabela 79 – Pesos dos atributos e critérios de *Business* Tecnológico e Semântico.

FONTE: O AUTOR.

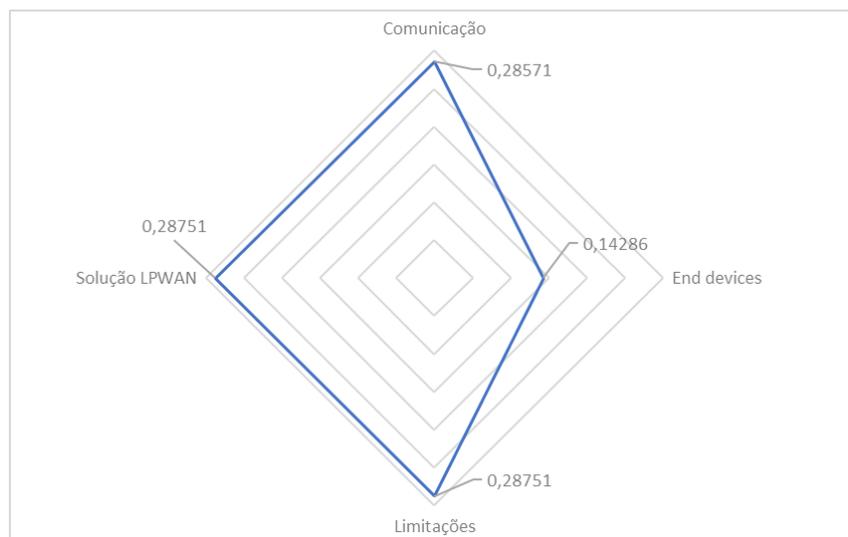


Figura 67 – Critérios do atributo Tecnologias LPWAN.

FONTE: O AUTOR.

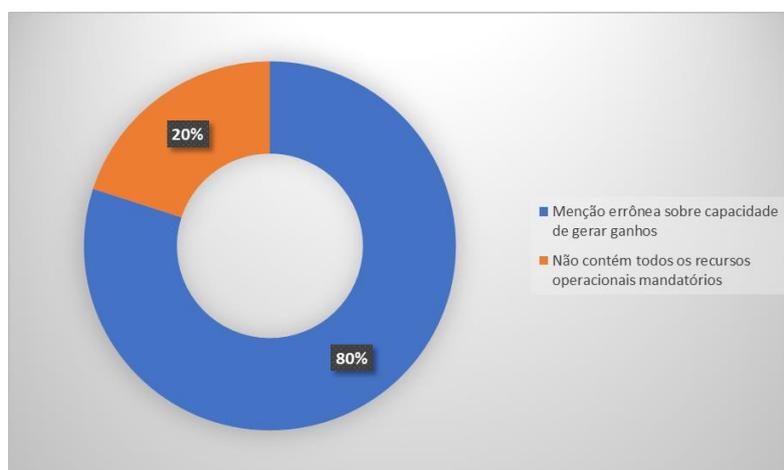


Figura 68 – Critérios do atributo Plataformas Abertas.

FONTE: O AUTOR.

Os critérios que compõem *Business* do tipo tecnológico possuem subcritérios que contribuir para o aprimoramento da análise. A Tabela 80 apresenta esses elementos com o seu respectivo valor de ponderação para que se possa observar o seu nível de relevância diante do experimento a ser implantado. Dentre os valores listados destaca-se o subcritério “Necessidade de Infraestrutura para disseminar Informações no Canal” que está muito relacionado com a variabilidade dos dados e se a infraestrutura de comunicação atenderá devidas customizações, caso sejam necessárias. Esse item tende a impactar significativamente uma tomada de decisão porque poderá limitar ou não a possibilidade de escalar a solução encontrada para

outros setores da organização. De forma a facilitar a compreensão, a Figura 69 apresenta os dados em um gráfico radar.

Barreiras de Interoperabilidade	Tipo	Atributos	Peso	Critérios	Peso	Subcritérios	Peso
<i>Business</i>	Tecnológico	Tecnologias LPWAN	1,00000	Comunicação	0,28571	Necessidade de infraestrutura para disseminar informações no canal	0,28571
				End devices	0,14286	Acesso fácil ao hardware	0,01006
					Capacidade limitada	0,05261	
					Sistema de segurança pouco robusto	0,05261	
					Variação do tipo de hardware e recursos	0,02756	
				Limitações	0,28751	Mobilidade	0,05714
						Ambiente indoor	0,11428
						Distância do gateway	0,11428
				Solução LPWAN	0,28751	Ajuste de desempenho	0,05714
						Desvio de frequência	0,02857
						Estudo analítico de energia	0,02857
						Estudo analítico de escalabilidade	0,11428
						Problema de otimização	0,05714

Tabela 80 – Pesos dos subcritérios do atributo Tecnologias LPWAN.

FONTE: O AUTOR.

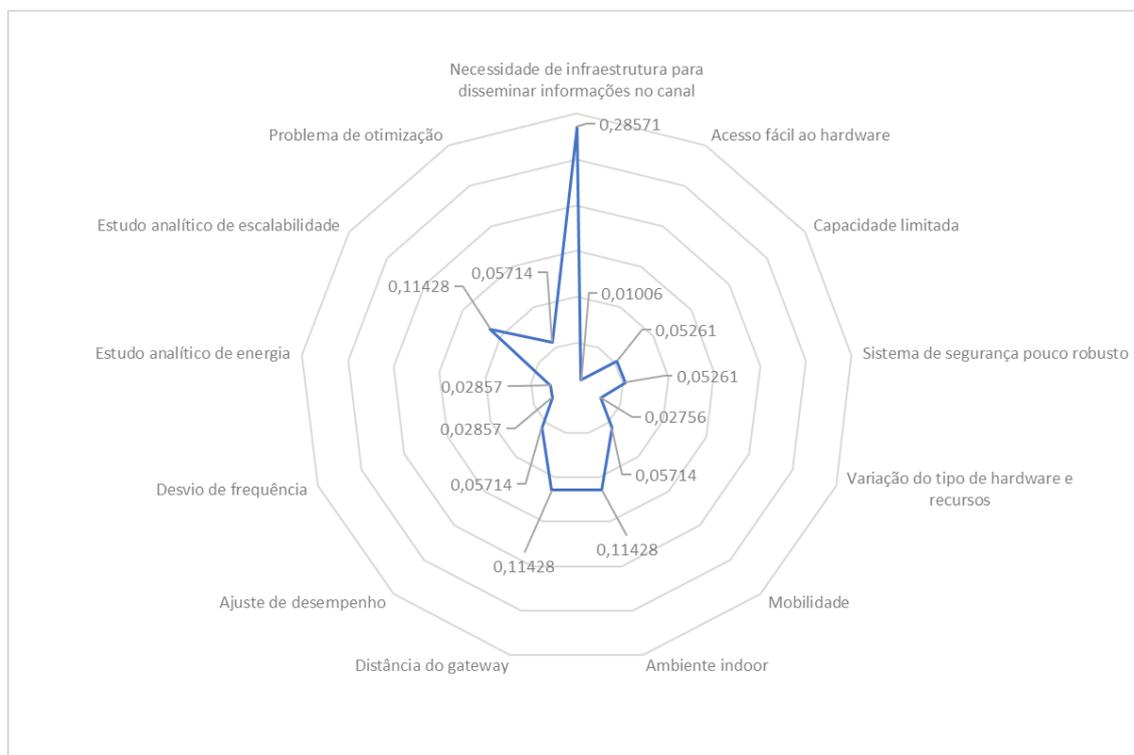


Figura 69 – Pesos dos subcritérios do atributo Tecnologias LPWAN.

FONTE: O AUTOR.

Cálculo Phi			
Requisitos Funcionais de <i>Business</i>	Phi+	Phi-	Phi
Camada de rede proprietária	0,2271	0,4229	-0,1957
Custo de conectividade	0,4043	0,2071	0,1971
Custo de dispositivo	0,5029	0,1129	0,3900
Flexibilidade de implementação	0,2371	0,4700	-0,2329
Necessidade de regulamentação	0,5229	0,1000	0,4229
<i>Open Source</i>	0,2943	0,3043	-0,0100
Propriedade de operadora de celular	0,2286	0,5986	-0,3700
Sujeito a contratos de serviço	0,2457	0,4471	-0,2014

Tabela 81 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de *Business* Tecnológico.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 81 aponta os valores de Phi obtidos comparando o impacto das barreiras de interoperabilidade com os requisitos funcionais. Dentre os que positivamente tiveram uma boa avaliação, destacam-se “Necessidade de Regulamentação”, “Custo de Dispositivo” e “Custo de Conectividade”. A primeira representa as tecnologias com custo mais acessível que já foram devidamente homologadas pelas instituições governamentais (Anatel) e pela própria companhia ao autorizar o seu uso em ambiente interno. Os custos dos equipamentos e conectividade para essas soluções detém valores aceitáveis e que, na maioria dos casos, garante um retorno de investimento a curto prazo. Por outro lado, tem-se alguns pontos que ainda não são atendidos como “Propriedade de Operadora Celular”, “Flexibilidade de Implementação” e “Sujeito a Contratos de Serviço”. Elas estão diretamente relacionadas sendo que a primeira entrou no mercado há pouco tempo. As operadoras de celular podem fornecer o serviço, via rede pública, sendo necessária as devidas autorizações por parte da Anatel. No Brasil, as grandes empresas que dominam o cenário nacional ainda não iniciaram qualquer tipo de conversa sobre ofertar este tipo de demanda, restringindo as organizações a trabalharem somente com uma rede privada. Isso faz com que a implementação não seja flexível, conforme condições já existentes em países da Europa, Ásia e América do Norte, tampouco sobre os tipos de serviços a serem oferecidos com os seus custos embutidos. Em suma, cria-se uma limitação externa que prejudica a expansão do uso das tecnologias IoT LPWAN, e isso precisa ser

levado em conta durante um processo de tomada de decisão. A Figura 70 mostra os valores de Phi contidos na Tabela 81.

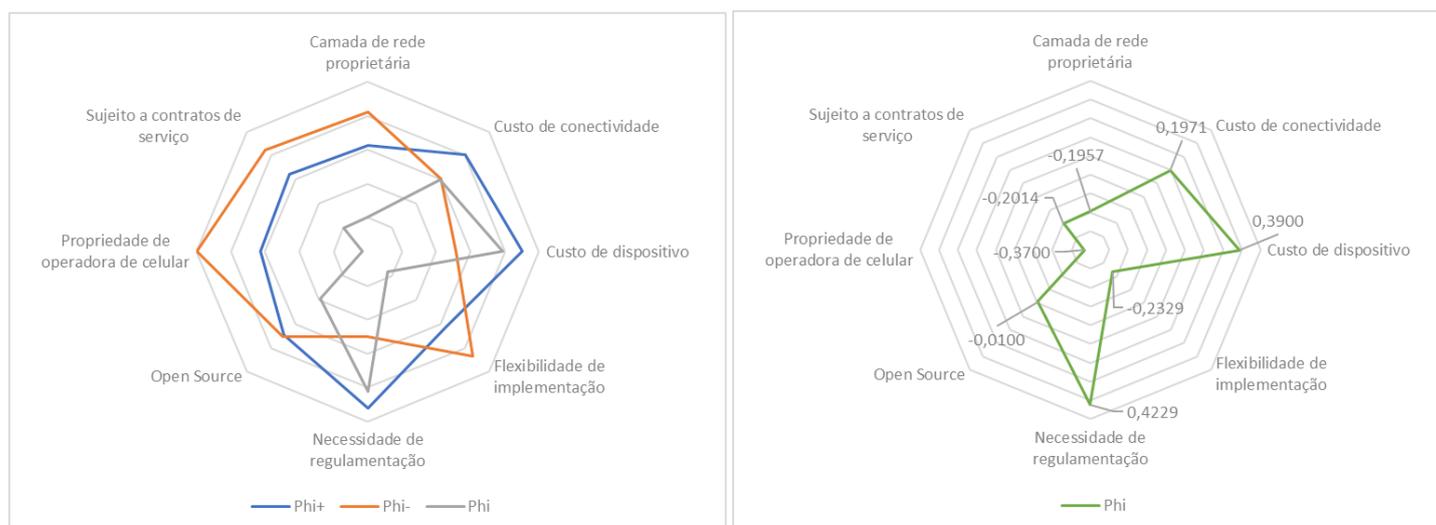


Figura 70 – Valores de Phi para requisitos funcionais de *Business* Tecnológico.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 82 apresenta os valores de Phi distribuídos para cada requisito avaliado em relação ao tipo de barreira no qual está sendo comparada. “Estudo Analítico de Escalabilidade” e “Ambiente *Indoor*” detém o maior número de requisitos com Phi negativo. A escalabilidade se restringe a partir do momento que há condições externas fora do controle da organização. Embora, as agências reguladoras já estejam em fase de testes para fins de operacionalização da solução, ainda há um tempo considerável até ter o serviço sendo oferecido pelas operadoras de celular. Em relação ao ambiente *indoor*, a presença de obstáculos, muito comum em empresas de médio e grande porte, se não bem dimensionado pode acarretar na compra de mais dispositivos de garantam a conectividade (*gateway*) assim como a aquisição dos sensores IoT que coletam os dados necessários. Outro ponto relevante é em relação ao “Problema de Otimização” que representa a possibilidade de aprimorar as funcionalidades do experimento de forma que sua integração com o processo logístico seja mais eficaz. Quando a solução se encontra sob o domínio de uma rede proprietária, este tipo de customização passa a ser muito mais difícil de ser negociado, sujeitando o cliente a redefinir os termos de contrato. A Figura 71 demonstra os dados da Tabela 82 em gráfico de barras.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>	Necessidade de Infraestrutura para Disseminar Informações no Canal	Acesso fácil ao <i>hardware</i>	Capacidade Limitada	Sistema de Segurança pouco robusto	Varição do tipo de <i>hardware</i> e recursos	Mobilidade	Ambiente <i>Indoor</i>	Distância do <i>Gateway</i>	Ajuste de Desempenho	Desvio de Frequência	Estudo Analítico de Energia	Estudo Analítico de Escalabilidade	Problema de Otimização
<b>Requisitos Funcionais de Business</b>													
Camada de rede proprietária	-0,1429	-0,5714	0,2857	-0,7143	0,0000	-0,7143	0,4286	0,0000	-0,8571	0,0000	0,8571	-0,5714	-0,7143
Custo de conectividade	0,7143	1,0000	0,2857	0,2857	0,0000	0,0000	-0,5714	0,0000	0,1429	0,8571	0,8571	-0,5714	0,2857
Custo de dispositivo	0,7143	0,2857	0,2857	1,0000	0,8571	0,7143	-0,5714	0,0000	0,1429	0,8571	-0,1429	0,5714	0,2857
Flexibilidade de implementação	-0,1429	-0,5714	-0,7143	-0,7143	-0,8571	-0,7143	-0,5714	-1,0000	0,1429	0,0000	-0,1429	0,5714	1,0000
Necessidade de regulamentação	0,7143	0,2857	1,0000	0,2857	-0,8571	0,7143	0,4286	0,0000	0,1429	0,0000	-0,1429	0,5714	0,2857
<i>Open Source</i>	-0,1429	0,2857	0,2857	0,2857	0,0000	0,0000	-0,5714	0,0000	0,1429	-0,7143	-0,1429	0,5714	0,2857
Propriedade de operadora de celular	-0,8571	-1,0000	-0,7143	-0,7143	0,0000	-0,7143	1,0000	1,0000	-0,8571	-1,0000	-1,0000	-0,5714	-0,7143
Sujeito a contratos de serviço	-0,8571	0,2857	-0,7143	0,2857	0,8571	0,7143	0,4286	0,0000	1,0000	0,0000	-0,1429	-0,5714	-0,7143

Tabela 82 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de *Business* Tecnológico.

FONTE: O AUTOR.

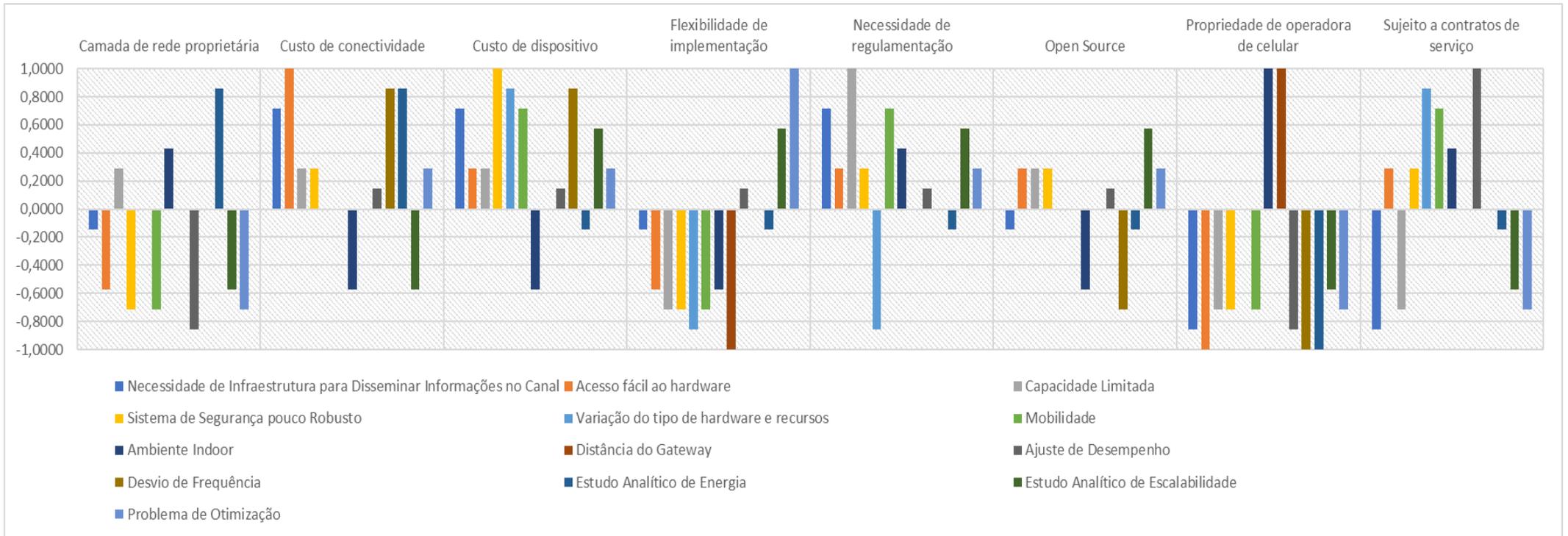


Figura 71 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de *Business Tecnológico* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 83 apresenta os dados obtidos de Phi comparando o impacto das barreiras de *Business* do tipo semântico com os requisitos funcionais da camada estratégica/decisão. Nota-se que “Propriedade de Operadora Celular” aparece como uma das mais deficitárias, assim como foi constatado na Tabela 81, sob o ponto de vista das barreiras técnicas. Esse é mais um indicio de que a empresa precisará iniciar os seus testes com a PoC apenas utilizando uma rede privada. A finalidade da avaliação com os elementos de *Business* semântico é de elencar subsídios que suportem a tomada de decisão em relação a plataformas abertas de gestão de dados. Como a solução tende para uma rede privada, nem todos os recursos disponíveis da plataforma poderão ser utilizados conforme o esperado. Em contrapartida, “*Open Source*” detém o maior valor de Phi caracterizando a viabilidade do uso das plataformas abertas.

Cálculo Phi			
Requisitos Funcionais de Business	Phi+	Phi-	Phi
Camada de rede proprietária	0,2286	0,2286	0,0000
Custo de conectividade	0,2286	0,2286	0,0000
Custo de dispositivo	0,4286	0,1143	0,3143
Flexibilidade de implementação	0,0000	0,8000	-0,8000
Necessidade de regulamentação	0,3429	0,1429	0,2000
Open Source	0,9143	0,0286	0,8857
Propriedade de operadora de celular	0,0000	0,8000	-0,8000
Sujeito a contratos de serviço	0,3429	0,1429	0,2000

Tabela 83 - Valores de Phi dos requisitos funcionais de *Business* Semântico.

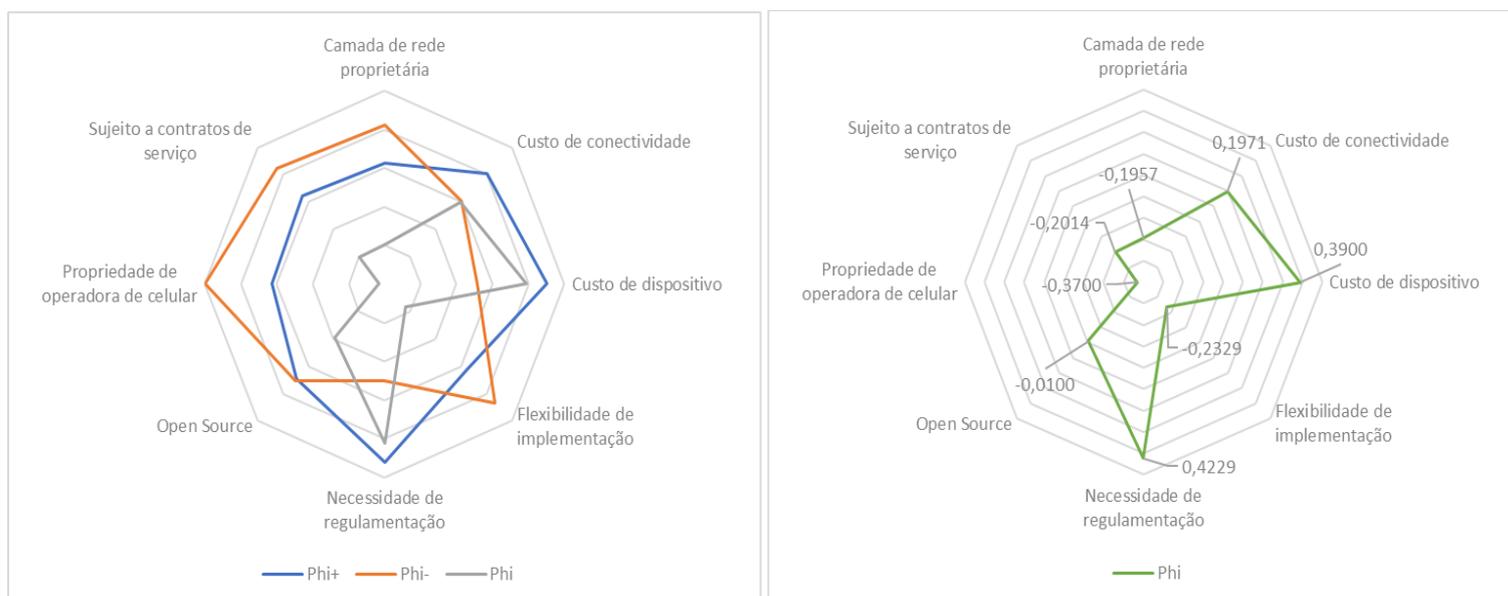
FONTE: O AUTOR.

A Tabela 84 mostra os valores resultantes de Phi para as barreiras semânticas relatadas demonstrando o nível de influência de cada um sob os requisitos elencados. A análise mais crítica faz-se para a barreira que menciona a ausência de recursos operacionais mandatórios para garantir uma gestão de dados de forma eficiente. Tal dificuldade de compreensão gera uma expectativa acima do que a plataforma poderá fornecer, podendo haver uma necessidade de substituição durante o processo de execução da PoC. Sendo assim, em termos de flexibilidade de implementação a interferência tende a ser grande ocasionando em um possível aumento de custo de conectividade. Os valores de Phi+, Phi- e Phi para cada requisito funcional e para cada barreira de interoperabilidade estão disponíveis nas Figuras 72 e 73, respectivamente.

Barreiras de Interoperabilidade	Menção Errônea sobre Capacidade de gerar Ganhos	Não contém todos os Recursos Operacionais Mandatórios
<b>Requisitos Funcionais de Business</b>		
Camada de rede proprietária	0,1429	-0,5714
Custo de conectividade	0,1429	-0,5714
Custo de dispositivo	0,1429	1,0000
Flexibilidade de implementação	-0,8571	-0,5714
Necessidade de regulamentação	0,1429	0,4286
Open Source	1,0000	0,4286
Propriedade de operadora de celular	-0,8571	-0,5714
Sujeito a contratos de serviço	0,1429	0,4286

Tabela 84 – Quadro relacional entre barreiras e requisitos funcionais de *Business Semântico*.

FONTE: O AUTOR.

Figura 72 – Valores de Phi para requisitos funcionais de *Business Semântico*.

FONTE: O AUTOR.

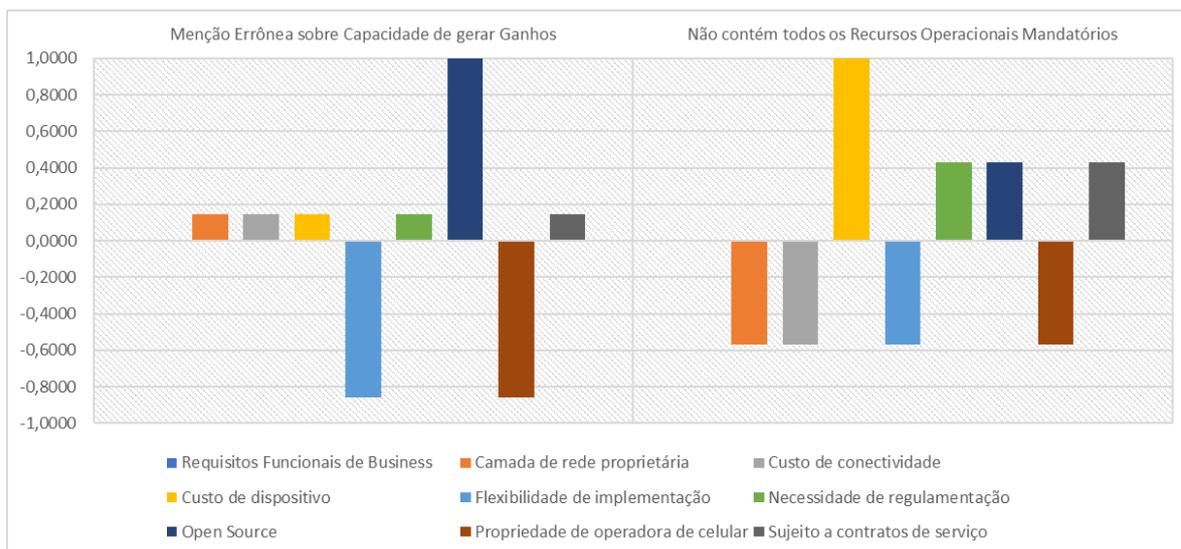


Figura 73 - Gráfico representando os valores de Phi para cada requisito funcional de *Business Semântico* avaliado.

FONTE: O AUTOR.

## 5.5 CONSTRUÇÃO DO MODELO PROGNÓSTICO (S3)

Após construir o modelo referencial (S1) onde foi possível encontrar a melhor solução a ser adotada e, posteriormente, fazer uma análise detalhada sobre as intempéries, caracterizando assim o modelo diagnóstico (S2) dentro da empresa, toma-se o caminho para definir quais serão as tecnologias a serem implementadas na organização com base nas informações já obtidas – constituindo assim o modelo prognóstico (S3). A avaliação que tem como objetivo determinar a melhor solução para cada camada do RAMI 4.0 será realizada através do desenvolvimento do quadro relacional entre as barreiras de interoperabilidade, mensuradas em S2, e as tecnologias, determinadas em S1. Para tal, foi desenvolvida uma metodologia que correlaciona os valores de Phi, obtidos em S1 e S2, de forma que o resultado a ser gerado em S3 não se torne subjetivo desfavorecendo os estudos preliminares. A seção 5.5.1 irá contextualizar esse procedimento de cálculo adotado. A seção 5.5.2 tem como função apresentar os resultados finais fornecendo a melhor tecnologia a ser implementada para a Prova de Conceito em questão.

### 5.5.1 Metodologia de Análise Adotada

Com o objetivo de escolher os devidos valores a serem inseridos no quadro relacional entre as tecnologias e as barreiras de interoperabilidade, optou-se por utilizar uma abordagem matemática que envolvesse Phi para determinar qual seria o valor da escala de nove pontos a ser computado no método Promethee. Sendo assim, chegou-se na equação representada em (16):

$$F_{S_3(i,j)} (F_{S_2(i,j)}, F_{S_1(j,i)}) = \frac{\sum_{j=1} \varphi_{S_2(i,j)} * w_{S_1(j)}}{\sum_{i=1} \varphi_{S_1(j,i)} * w_{S_1(i)}} \quad (16)$$

Onde:

$i = \text{linha}$

$j = \text{coluna}$

$F_{S_1} = \text{Matriz Promethee resultante do modelo referencial}$

$F_{S_2} = \text{Matriz Promethee resultante do modelo diagnóstico}$

$F_{S_3} = \text{Matriz Promethee resultante do modelo propositivo}$

$\varphi_{S_2} = \text{Valores de Phi oriundos da avaliação diagnóstica}$

$\varphi_{S_1} = \text{Valores de Phi oriundos da avaliação de referência}$

$w_{S_1} = \text{Peso do requisito funcional atribuído em } S_1$

Para fins de contextualização, aborda-se a avaliação prognóstica obtida para a camada de *Assets* apresentada na Tabela 88, cujo os valores calculados estão presentes. Esses números foram obtidos de acordo com os valores de Phi determinados na Face 02 (S2 – Diagnóstica) e Face 01 (S1 – Referencial). A Tabela 85 mostra os dados resultantes de S2 através do método Promethee, constituindo a matriz  $F_{S_2}$ . As marcações feitas na cor azul apontam para os números de Phi que são menores do que zero ( $\varphi < 0$ ), ou seja, é necessário se concentrar nos requisitos funcionais cujas barreiras tem maior impacto na PoC utilizando tecnologias que se adaptem a essas condições. A tabela também mostra os pesos dos requisitos e das barreiras, porém só serão usadas as ponderações empregadas para as funcionalidades no cálculo.

	Barreiras	Distância em Relação aos Gateways (Externo)	Velocidade do Veículo Alta	Distância em Relação ao Dispositivo	Distância em Relação ao Gateway (Interno)	Interferência Devido aos Obstáculos	Menor Mobilidade Urbana	Tamanho do Pacote
<b>Requisitos Funcionais</b>	<b>Pesos</b>	0,60	0,15	0,02	0,06	0,10	0,01	0,06
Aplicações Adequadas	0,05	-1,0000	0,3333	-0,6667	-1,0000	-0,5556	-0,8889	-0,8889
Capacidade total de rede	0,03	-0,2222	0,3333	-0,6667	-0,5556	-0,5556	0,0000	0,2222
Suporte a rede privada	0,10	0,7778	0,3333	0,4444	0,4444	0,8889	0,0000	0,2222
Suporte TCP/IP	0,01	0,7778	0,3333	0,4444	-0,5556	0,2222	0,0000	0,2222
Seleção de canal	0,10	-0,2222	0,3333	0,4444	0,4444	0,2222	0,0000	0,2222
Chaveamento de frequência	0,10	-0,2222	0,3333	0,4444	0,4444	0,2222	0,0000	0,2222
Baixa latência	0,10	-0,2222	-0,8889	-0,6667	0,4444	-0,5556	-0,8889	-0,8889
Maximizar a vida útil dos dispositivos	0,32	0,7778	0,3333	-0,6667	0,4444	0,8889	0,0000	0,2222
Atribuições de emparelhamento	0,06	-0,2222	-0,8889	0,4444	-0,5556	-1,0000	0,8889	0,2222
Taxa de dados	0,12	-0,2222	-0,5556	0,4444	0,4444	0,2222	0,8889	0,2222

Tabela 85 – Matriz diagnóstica  $F_{S_2}$  para a camada de Assets.

FONTE: O AUTOR.

A matriz referencial  $F_{S_1}$  é apresentada na Tabela 86 onde estão presentes as tecnologias e os requisitos funcionais correlacionados. Sinalizado pela cor vermelha, estão as redes IoT LPWAN LTE-M e NB-IoT, ainda não usuais no Brasil, que foram excluídas da avaliação prognóstica devido ao valor de Phi muito baixo que tiveram na fase referencial.

Requisitos Funcionais	Aplicações Adequadas	Capacidade total de rede	Suporte a rede privada	Suporte TCP/IP	Seleção de canal	Chaveamento de frequência	Baixa latência	Maximizar a vida útil dos dispositivos	Atribuições de emparelhamento	Taxa de dados
<b>Tecnologias</b>	0,05	0,03	0,10	0,01	0,10	0,10	0,10	0,32	0,06	0,12
LECIM	-0,3333	-0,0833	0,5000	0,1667	0,6667	-0,1612	0,8333	0,0000	0,1667	0,0000
RPMA	0,2500	-0,0833	0,5000	-1,0000	1,0000	0,3612	0,0000	0,0000	0,1667	0,3333
SigFox	0,2500	0,5000	-0,6667	0,1667	0,0000	-0,0667	0,0000	0,0000	0,6667	-0,5000
LoRaWAN	0,2500	0,5000	0,5000	0,1667	0,0000	-0,0667	0,0000	0,0000	1,0000	-0,5000
IEEE 802.11ah	-0,3333	-0,0833	0,5000	0,1667	-1,0000	-0,0667	0,0000	0,0000	-0,6667	1,0000
LTE-M	-0,3333	-0,6667	-0,6667	0,1667	-0,6667	0,0000	-0,8333	0,0000	-0,6667	0,6667
NB-IoT	0,2500	-0,0833	-0,6667	0,1667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,6667	-1,0000

Tabela 86 - Matriz referencial  $F_{S_1}$  para a camada de Assets.

FONTE: O AUTOR.

Com os dados de  $F_{S_1}$  e  $F_{S_2}$  adquiridos, inicia-se os cálculos que irão resultar nos valores constados na Tabela 87. Para facilitar a compreensão, toma-se como exemplo a relação entre a tecnologia LECIM e a barreira de interoperabilidade “Distância em Relação aos Gateways (Externo)”. A equação (17) apresenta os números extraídos das Tabelas 85 e 86 para compor a operação.

$$F_{S_3} = \frac{-1,000*0,05+(-0,2222*0,03)+(-0,2222*0,10)+(-0,2222*0,10)+(-0,2222*0,10)+(-0,2222*0,06)+(-0,2222*0,12)}{-0,3333*0,05+(-0,0833*0,03)+(-0,6667*0,10)+(-0,1612*0,10)+(-0,8333*0,10)+(-0,1667*0,06)+(0,0000*0,12)} = -1,3095 \quad (17)$$

O numerador contém a multiplicação entre os valores de Phi fornecidos as barreiras com os pesos dos requisitos funcionais. Por exemplo, o valor de Phi do critério “Distância em relação aos Gateways (Externo)” é -1,0000 para o requisito “Aplicações Adequadas” que detém um peso de 0,05. São considerados somente os dados com ( $\varphi < 0$ ) que indicam que o requisito funcional foi impactado fortemente pela barreira apresentada. Dessa forma, segue o somatório constado no numerador da equação. Para o denominador, são elencados os valores de Phi obtidos entre os requisitos funcionais e as tecnologias avaliadas em S1. Por exemplo, “Aplicações Adequadas”, que possui um peso de 0,05, é multiplicado pelo respectivo valor que a tecnologia LECIM deteve em  $F_{S_1}$ , ou seja, -0,3333. Todos os valores dos requisitos funcionais listados no numerador, deverão constar na operação do denominar, conforme mostra a equação (17). Por fim, o número resultante da divisão é -1,3095 apresentado na relação entre os dois elementos na Tabela 87. Reforçando que esse dado não faz referência alguma ao Phi do método Promethee. Este, por definição, está compreendido entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximo de -1, pior é a nota apontada na relação entre critérios e alternativas. Para serem considerados valores viáveis para a avaliação, o valor final do cálculo deve ser negativo. Isso significa que o numerador, composto somente por números de Phi negativos, deve ser dividido pelo somatório no denominador que deve conter, em sua maioria, elementos positivos acima de 0. Dessa forma, obtém-se os números destacados pela cor verde na Tabela 87. Caso o somatório no denominador se consume em um número negativo, o valor final ficará positivo. Isso indica que as tecnologias não foram bem avaliadas na Face S1 (Referencial) reforçando que a alternativa não pode ser adotada para o case em questão. Por fim, mas não menos importante, é possível que ocorra uma divisão por zero por causa dos valores de Phi inseridos nas alternativas (tecnologias) da Face S1. Tem-se como exemplo na Tabela 87 o valor resultante entre a tecnologia LoRaWAN e a barreira “Velocidade do Veículo Alta”. Todos os valores destacados na cor vermelha serão considerados na análise, porém receberão o valor mínimo da escala de 9 pontos utilizada no Promethee para compor a matriz  $F_{S_3}$ . Os valores de Phi

para a camada de *Assets* da Face S3 serão melhor discutidos na seção 5.5.2.1. Os dados contidos na Tabela 87 servem como referência na classificação a ser dada na escala de 9 pontos do Promethee. A Tabela 88, da seção 5.5.2.1, abordará esse ranqueamento.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>	Distância em Relação aos Gateways (Externo)	Velocidade do Veículo Alta	Distância em Relação ao Dispositivo	Distância em Relação ao Gateway (Interno)	Interferência Devido aos Obstáculos	Menor Mobilidade Urbana	Tamanho do Pacote
<b>Tecnologias de Assets</b>							
LECIM	-1,3095	-2,2382	-5,1951	14,0841	-2,1574	-2,0001	-2,0001
RPMA	-0,8328	-4,1781	-33,3317	-10,5528	-7,9992	-10,6668	-10,6668
SigFox	-196,3005	10,4458	-12,1218	-1,5261	-2,3704	-10,6668	-10,6668
LoRaWAN	-7,8407	#DIV/0!	-12,1218	-1,1838	-1,8287	-10,6668	-10,6668
IEEE 802.11ah	3,5632	-2,6113	17,3946	1,8359	2,7044	8,0009	8,0009

Tabela 87 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de *Assets*.

FONTE: O AUTOR.

## 5.5.2 Definição das Tecnologias

Após construir a Face Referencial (S1) e a Face Diagnóstica (S2) obtendo os resultados que contribuir para a implementação da Prova de Conceito de Rastreabilidade de Embalagem, finalmente, chega-se na última etapa do *framework* RDPM I4.0 denominada Face Prognóstica (S3). Nela serão definidas as tecnologias que melhor se adequam ao ambiente da organização fornecendo informações para a equipe técnica responsável pela condução do experimento. Dessa forma, as tomadas de decisão passam a ser realizadas com um embasamento mais sólido do que normalmente são. A seção 5.5.2.1, 5.5.2.2, 5.5.2.3, 5.5.2.4, 5.5.2.5 e 5.5.2.6 apresentarão as tecnologias recomendadas para *Assets*, *Integration*, *Communication*, *Information*, *Functional* e *Business*, respectivamente. Reforçando que a metodologia de cálculo para compor os valores de referência da face prognóstica foi mencionada na seção 5.5.1.

### 5.5.2.1 Camada de Dispositivos (*Assets*)

A Tabela 87, presente na seção 5.4.1, já abordou os valores resultantes do cálculo dos dados obtidos na Face S1 e Face S2 para a camada de *Assets*.

Com base nas informações obtidas, foi feito o escalonamento, em uma escala de nove pontos, para inserir os valores no quadro relacional Promethee. A Tabela 88 apresenta este ranqueamento.

Escalonamento		
Valor	Escala	Descrição
-0,8328	9,0000	Muito Alta
-1,1838	8,0000	Muito Alta-Alta
-1,3095		
-1,5261	7,0000	Alta
-1,8287		
-2,0001	6,0000	Média-Alta
-2,1574		
-2,2382		
-2,3704		
-2,6113		
-4,1781	5,0000	Média
-5,1951		
-7,8407	4,0000	Baixa-Média
-7,9992		
-10,5528	3,0000	Baixa
-10,6668		
-12,1218		
-33,3317	2,0000	Muito Baixa-Baixa
>= -196,3005	1,0000	Muito Baixa
>= 0,0000		
∞		

Tabela 88 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de *Assets*.

FONTE: O AUTOR.

As alternativas que tiveram um valor negativo muito elevado ou maior igual a zero ou infinito (divisão por zero) recebem o nível mais baixo da escala. Sendo assim, com os devidos valores ranqueados e imputados no *software* Visual Promethee, chegou-se na Tabela 89 que apresenta a tecnologia que mais se adere ao experimento proposto. Percebe-se que “LECIM” e “RPMA” foram bem avaliadas, muito embora ainda não tenham os seus serviços homologados pelas agências reguladoras no Brasil. Mesmo assim, elas foram consideradas porque suas características condizem com a aplicação de rastreabilidade de embalagens. Uma vez regulamentada, se torna uma opção viável para esse *case*. Dessa forma, tem-se a tecnologia “LoRaWAN” que tem

ganhado espaço no mercado e obtido resultados expressivos em campos de atuação variados. Por hora, considera-se “LoRaWAN/LoRa” como a mais indicada para os sensores IoT que fornecem informações de geolocalização das embalagens. A Figura 74 representa os dados contidos na Tabela 89 graficamente.

Cálculo Phi			
Tecnologias de Assets	Phi+	Phi-	Phi
LECIM	0,7025	0,2200	0,4825
RPMA	0,7525	0,2125	0,5400
SigFox	0,1225	0,6250	-0,5025
LoRaWAN	0,4875	0,4350	0,0525
IEEE 802.11ah	0,1125	0,6850	-0,5725

Tabela 89 – Valores de Phi para as tecnologias de Assets.

FONTE: O AUTOR.

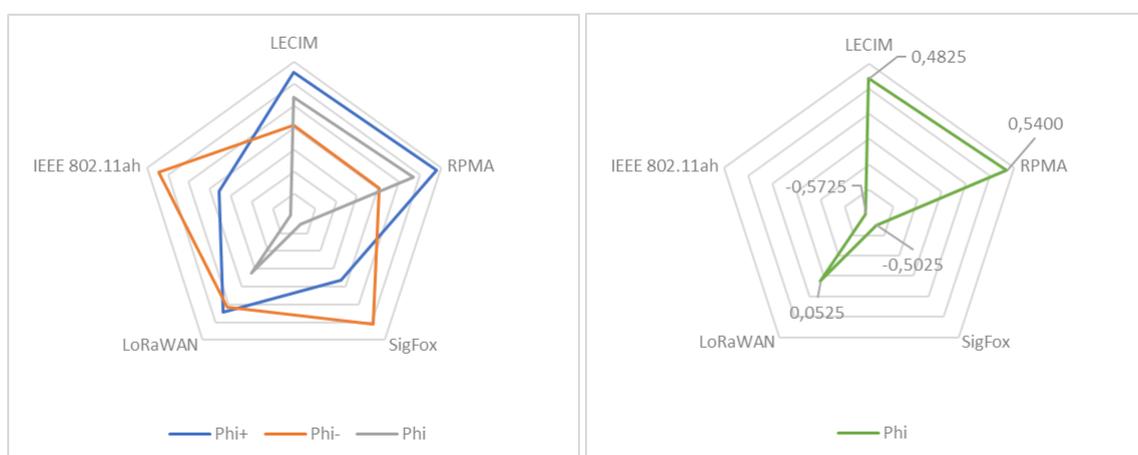


Figura 74 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de Assets.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 90 detém os valores de Phi que cada tecnologia obteve para as respectivas barreiras avaliadas. “RPMA” possui o maior valor final de Phi, mas é “LECIM” que atende mais a barreiras pertencentes a organização. Embora esteja constada como uma terceira alternativa, “LoRaWAN” foi bem ranqueada quando se trata de características *indoor*, sobretudo em relação a interferência ocasionada por obstáculos (muito frequente em empresas de grande porte). Por fim, SigFox, que já é atuante no Brasil, não apresentou nenhuma indicação que a postule como alternativa viável ao case em questão. A Figura 75 representa os valores da Tabela 90 no formato gráfico.

Barreiras de Interoperabilidade	Distância em Relação aos Gateways (Externo)	Velocidade do Veículo Alta	Distância em Relação ao Dispositivo	Distância em Relação ao Gateway (Interno)	Interferência Devido aos Obstáculos	Menor Mobilidade Urbana	Tamanho do Pacote
LECIM	0,5000	0,7500	1,0000	-0,7500	0,2500	1,0000	1,0000
RPMA	1,0000	0,0000	-0,5000	0,0000	-0,5000	0,0000	0,0000
SigFox	-0,7500	-0,7500	0,2500	0,5000	0,2500	0,0000	0,0000
LoRaWAN	0,0000	-0,7500	0,2500	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
IEEE 802.11ah	-0,7500	0,7500	-1,0000	-0,7500	-1,0000	-1,0000	-1,0000

Tabela 90 – Quadro relacional no Promethee entre as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de Assets.

FONTE: O AUTOR.

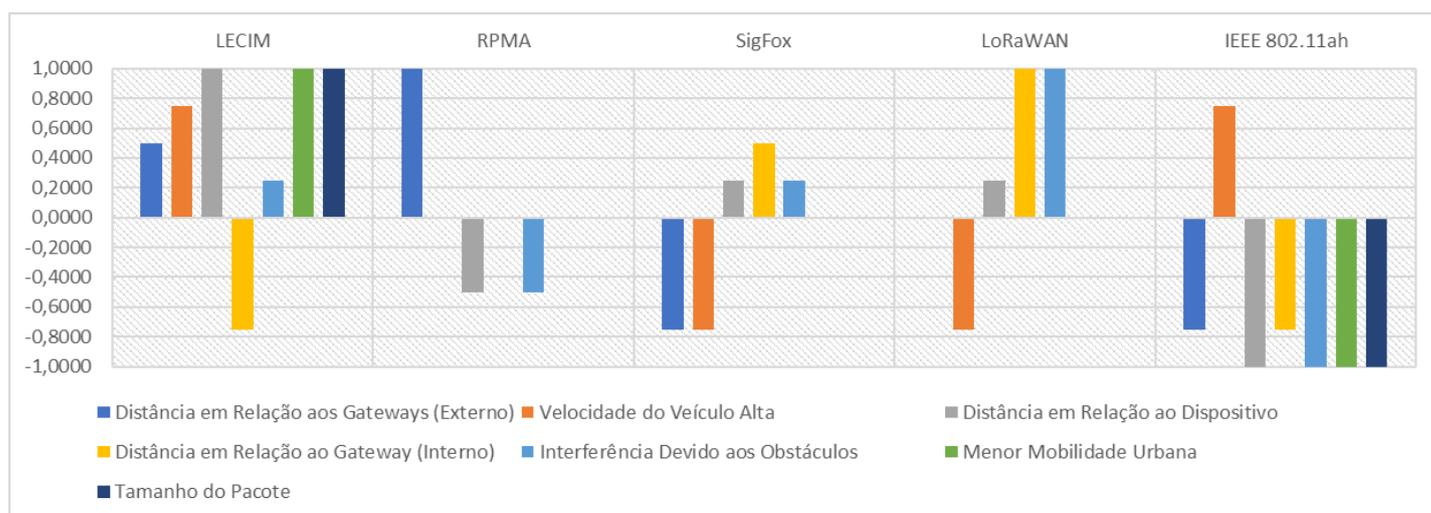


Figura 75 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de Assets.

FONTE: O AUTOR.

### 5.5.2.2 Camada de Integração (*Integration*)

A Tabela 91 mostra os valores calculados que servem de referência para o escalonamento e conseqüente definição dos valores a serem inseridos no método Promethee. Analisando os dados, verifica-se que a maioria dos números resultantes é divisível por zero (infinito) ou detém valor positivo. Isso demonstra que as alternativas existentes em dificuldade para se sobreporem frente as barreiras identificadas. Destaca-se o “Desligamento de *Switches* RF” que, em termos numéricos, não foi atendido pelas opções presentes. De certa forma, isso não chega a ser um indicador grave, porém requer uma atenção mais específica quando estiver iniciando a concepção da aplicação. Com base nos valores resultantes, foi feito o ranqueamento dos mesmos para inseri-los

na escala de nove pontos do Promethee. A Tabela 91 apresenta a escala final adotada.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>	Capacidade limitada de sistemas de segurança	Desligamento de <i>Switches</i> RF	Limite de resolução do <i>timestamp</i>	Sistema de localização de baixa potência	Variação de <i>hardware</i> e recursos
<b>Tecnologias de <i>Integration</i></b>					
Acesso 3GPP	-2,8034	#DIV/0!	#DIV/0!	-2,0364	-6,0667
Acesso não 3GPP	1,1212	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	18,2018
Integração eNodeB	-1,3801	#DIV/0!	-1,8000	2,0364	-3,6399
<i>Virtual In Core</i>	5,2756	#DIV/0!	1,8000	#DIV/0!	2,6000

Tabela 91 – Cálculo dos valores resultantes para a Face S3 para definição das tecnologias de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

#### Escalonamento

Valor	Escala	Descrição
-1,3801	9,0000	Muito Alta
-1,8000	7,0000	Alta
-2,0364	6,0000	Média-Alta
-2,8034	5,0000	Média-Alta
-3,6399	3,0000	Baixa
>= -6,0667		
>= 0,0000	1,0000	Muito Baixa
∞		

Tabela 92 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

Após inserir a devida escala no Promethee, gerou-se os valores de Phi constados na Tabela 93. Das quatro tecnologias existentes, duas atenderam as funcionalidades frente as barreiras que a empresa possui: Integração eNodeB e Acesso 3GPP. A primeira foi melhor avaliada em relação as demais. “Acesso não 3GPP” e “*Virtual In Core*” detiveram as mesmas notas obtendo o mesmo valor final de Phi. A Figura 76 demonstra graficamente os números da Tabela 93.

Cálculo Phi			
<b>Tecnologias de <i>Integration</i></b>	Phi+	Phi-	Phi
Acesso 3GPP	0,5833	0,1967	0,3867
Acesso não 3GPP	0,0000	0,4300	-0,4300
Integração eNodeB	0,5900	0,1167	0,4733
<i>Virtual In Core</i>	0,0000	0,4300	-0,4300

Tabela 93 – Valores de Phi para as tecnologias de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

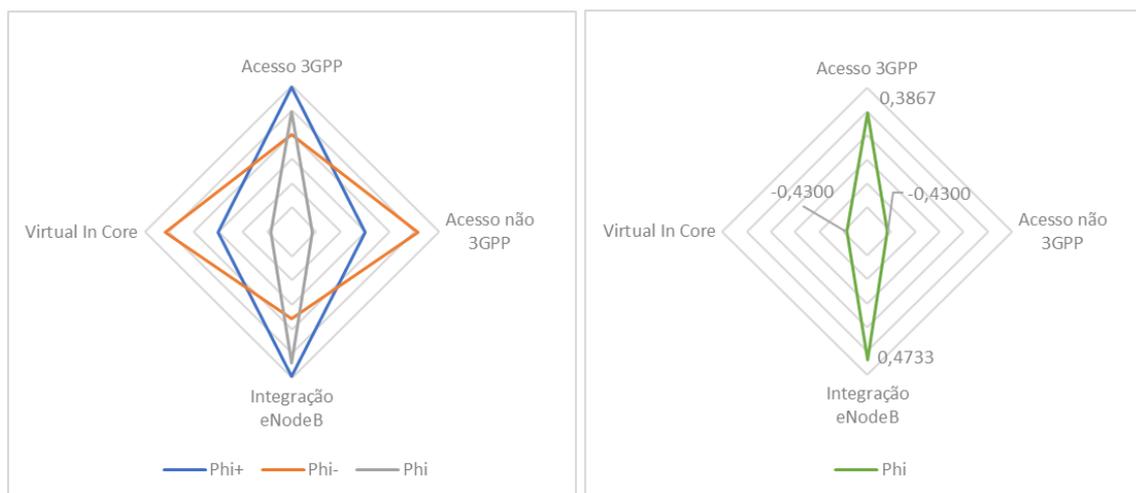


Figura 76 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>	Capacidade limitada de sistemas de segurança	Desligamento de <i>Switches</i> RF	Limite de resolução do <i>timestamp</i>	Sistema de localização de baixa potência	Varição de <i>hardware</i> e recursos
<b>Tecnologias de <i>Integration</i></b>					
Acesso 3GPP	0,3333	0,0000	-0,3333	1,0000	-0,3333
Acesso não 3GPP	-0,6667	0,0000	-0,3333	-0,3333	-0,3333
Integração eNodeB	1,0000	0,0000	1,0000	-0,3333	1,0000
<i>Virtual In Core</i>	-0,6667	0,0000	-0,3333	-0,3333	-0,3333

Tabela 94 – Quadro relacional no Promethee entre as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

Numa análise mais criteriosa onde se envolve as barreiras de interoperabilidade junto as alternativas possíveis, tem-se os valores de Phi que compõem a matriz propositiva da Face S3 para a camada de integração. Percebe-se que a tecnologia “eNodeB” consegue atender grande parte das intempéries existentes, sendo que somente “Sistema de Localização de Baixa Potência” não conseguiu fazer frente a “Acesso 3GPP”. Em suma, tem-se a alternativa “eNodeB” como a que mais atende o conceito da PoC para a camada de integração. A análise gráfica está disponível na Figura 77.

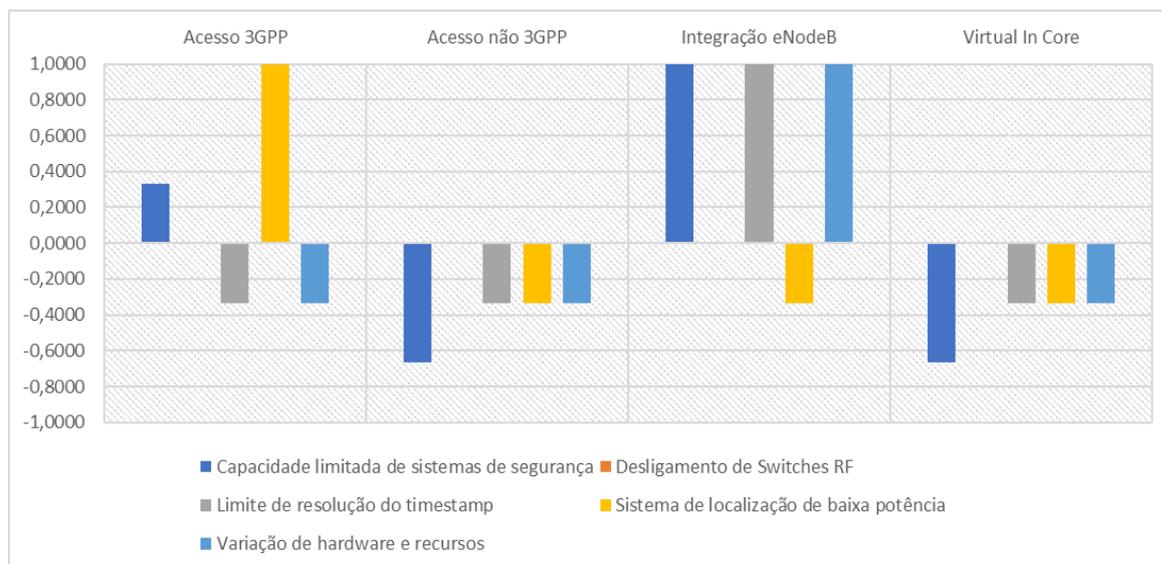


Figura 77 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

### 5.5.2.3 Camada de Comunicação (*Communication*)

A camada de *Communication* possui cinco alternativas como opções para atender aos requisitos funcionais da Prova de Conceito. Com base na metodologia de cálculo empregada, obteve-se os valores apresentados na Tabela 95. Os protocolos “CoAP” e “MQTT” detêm as características elementares para o uso das soluções IoT LPWAN. O resultado mostrado condiz com o que era esperado, somente observando o ponto de vista técnico. Por ser mais flexível em relação as demais alternativas, o “MQTT” teve melhor aceitação, sobretudo quando se compara as barreiras mais vinculadas ao *setup*, como “Utilidade” e “Conceito do *Broker*”. Destaca-se negativamente as alternativas vinculadas ao “Serviço de Nuvem”. Nenhuma delas apresentou um resultado significativo que as fizessem sobressair diante da barreira imposta. Para esse caso, todas obtiveram o mesmo valor na avaliação.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>					
<b>Tecnologias de <i>Communication</i></b>	Tipo de Aplicação	Transmissão em Alta Velocidade	Utilidade	Conceito do <i>Broker</i>	Serviço de Nuvem
CoAP	-2,0424	-4,3373	-0,9885	-1,6667	#DIV/0!
MQTT	-2,0424	-4,3373	-0,6992	-1,3736	#DIV/0!
DTLS	4,6346	8,5714	1,3871	3,6765	#DIV/0!
HTTP	2,6196	5,8065	1,3871	1,6892	#DIV/0!
TCP/IP	2,6196	5,8065	1,0000	2,1552	#DIV/0!

Tabela 95 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

Tendo como referência os números resultantes da Tabela 95, fez-se o ranqueamento na escala de nove pontos para serem imputados no Promethee. A Tabela 96 demonstra como foi feito o escalonamento.

<b>Escalonamento</b>		
Valor	Escala	Descrição
-0,6992	9,0000	Muito Alta
-0,9885	7,0000	Alta
-1,3736	5,0000	Média
-1,6667	4,0000	Média-Baixa
-2,0424	2,0000	Muito Baixa-Baixa
>= -4,3373		
> 0,0000	1,0000	Muito Baixa
∞		

Tabela 96 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

<b>Cálculo Phi</b>			
<b>Tecnologias de <i>Communication</i></b>	Phi+	Phi-	Phi
CoAP	0,4848	0,0682	0,4167
MQTT	0,5530	0,0000	0,5530
DTLS	0,0000	0,3232	-0,3232
HTTP	0,0000	0,3232	-0,3232
TCP/IP	0,0000	0,3232	-0,3232

Tabela 97 – Valores de Phi para as tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

Tendo em vista os dados contidos na Tabela 96, foi constituído o modelo Promethee para que fosse definido a tecnologia que é recomenda ao case em questão. A Tabela 97 apresenta os valores finais de Phi, destacando na cor verde a alternativa que deteve o maior valor, e na cor vermelha as que possuem o menor valor. Dessa forma, o método reporta que o protocolo

“MQTT” deve ser considerado como a melhor opção para fazer a comunicação e enviar os dados coletados das embalagens a um servidor na nuvem. Sob o ponto de vista gráfico, os dados da Tabela 97 estão representados na Figura 78.

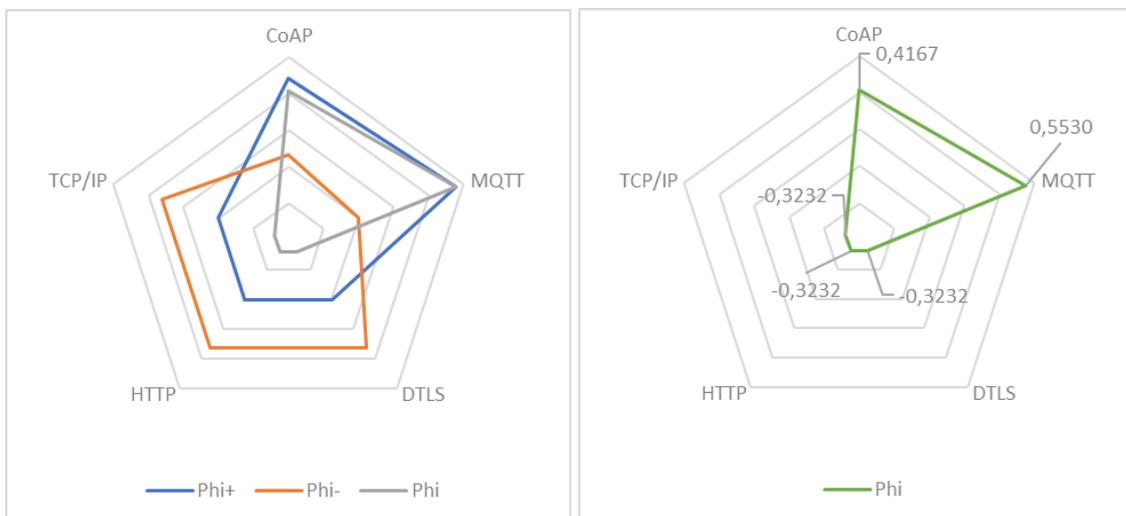


Figura 78 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 98 apresenta os valores de Phi das alternativas frente as barreiras de interoperabilidade predominantes no estudo. Reforça-se que o “MQTT” obteve considerável vantagens nos critérios de “Utilidade” e “Conceito do *Broker*” frente as outras alternativas listadas. A Figura 79 apresenta os valores de Phi em formato gráfico.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>					
<b>Tecnologias de <i>Communication</i></b>	Tipo de Aplicação	Transmissão em Alta Velocidade	Utilidade	Conceito do <i>Broker</i>	Serviço de Nuvem
CoAP	0,7500	0,0000	0,5000	0,5000	0,0000
MQTT	0,7500	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000
DTLS	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000
HTTP	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000
TCP/IP	-0,5000	0,0000	-0,5000	-0,5000	0,0000

Tabela 98 – Quadro relacional no Promethee para as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

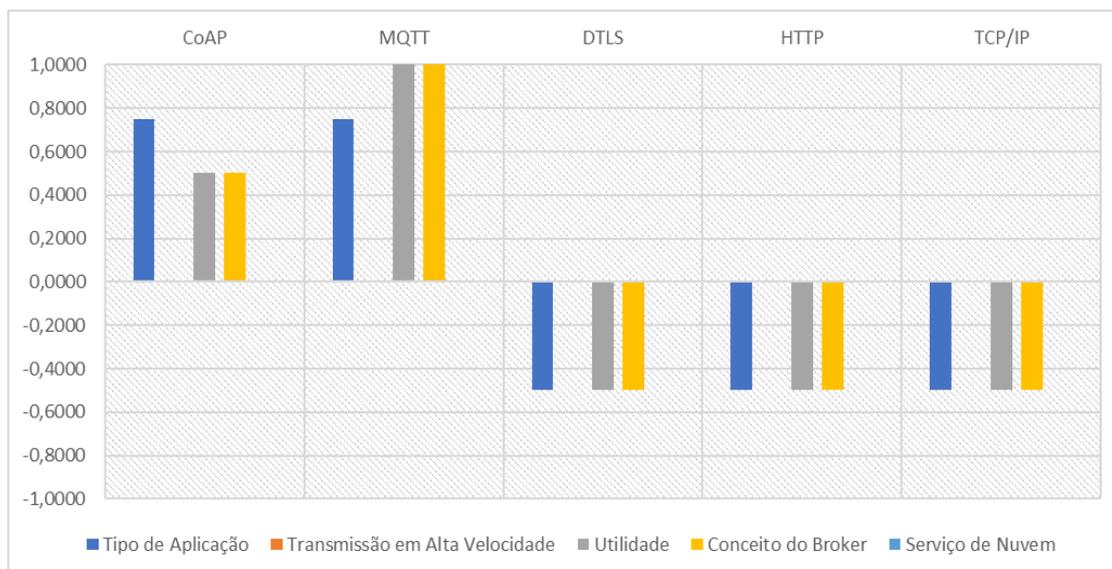


Figura 79 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.5.2.4 Camada de Informação (*Information*)

A Tabela 99 destaca os números obtidos da relação entre os valores de Phi da Face S1 (Referencial) e Face S2 (Diagnóstica). Avaliando somente esses dados, percebe-se que a tecnologias/linguagens “JSON” foi a melhor ranqueada. As demais apresentaram limitações em aspectos cruciais como “Análise Detalhada da Comunicação” (XML) e “Necessidade de adicionar o ADR aos Recursos de *Software*” (Node-Red). As três alternativas listadas tiveram resultados similares em relação a barreira de “Taxas de Dados Adaptativas (ADR) não suportadas”. Para a PoC, esse tipo de limitação não terá tanto impacto, visto que o experimento é pontual e de baixa escala. Para fins de projeto, toma-se o caminho para uma análise mais apurada.

Tecnologias de <i>Information</i>	Barreiras de Interoperabilidade		
	Análise Detalhada da Comunicação	Necessidade de adicionar o ADR aos recursos de <i>software</i>	Taxas de Dados Adaptativas (ADR) não suportadas
Node-Red	-2,3947	1,7434	#DIV/0!
JSON	-2,3947	-3,4868	#DIV/0!
XML	1,1974	-3,4868	#DIV/0!

Tabela 99 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 100 mostra como ficou o ranqueamento, utilizando a escala de nove pontos, para inserir os dados no Promethee. Apesar de ter sido definido como premissa no *framework* RDPM I4.0 o uso do *ranking* de nove pontos para todos os modelos construídos no método Promethee, entende-se que nesse caso a escala poderia ser modificada diante do número limitado de valores obtidos. Dessa forma, os valores apresentados na Tabela 99 ficaram posicionados nos extremos do nivelamento. Tal fato não compromete a análise, mas indica um possível aprimoramento para a metodologia empregada no RDPM I4.0 em ações futuras.

Escalonamento		
Valor	Escala	Descrição
-2,3947	9,0000	Muito Alta
-3,4868		
$\geq 0,0000$	1,0000	Muito Baixa
$\infty$		

Tabela 100 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

Após a definição da escala adotada e consequente inserção dos valores no método Promethee, tem-se os dados de Phi resultantes e citados na Tabela 101. A avaliação mostra que a linguagem “JSON” é a mais indicada para o caso de estudo. “Node-Red” se estabeleceu em segundo, mas segue como uma possível solução alternativa devido as suas funcionalidades serem bem abrangentes. Por fim, tem-se “XML” que por ser mais antigo detém certas limitações de sintaxe que poderão corroborar para o insucesso da aplicação. A Figura 80 demonstra os dados de Phi no gráfico radar.

Cálculo Phi			
Tecnologias de <i>Information</i>	Phi+	Phi-	Phi
Node-Red	0,2500	0,2500	0,0000
JSON	0,3750	0,0000	0,3750
XML	0,1250	0,5000	-0,3750

Tabela 101 – Valores de Phi para as tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

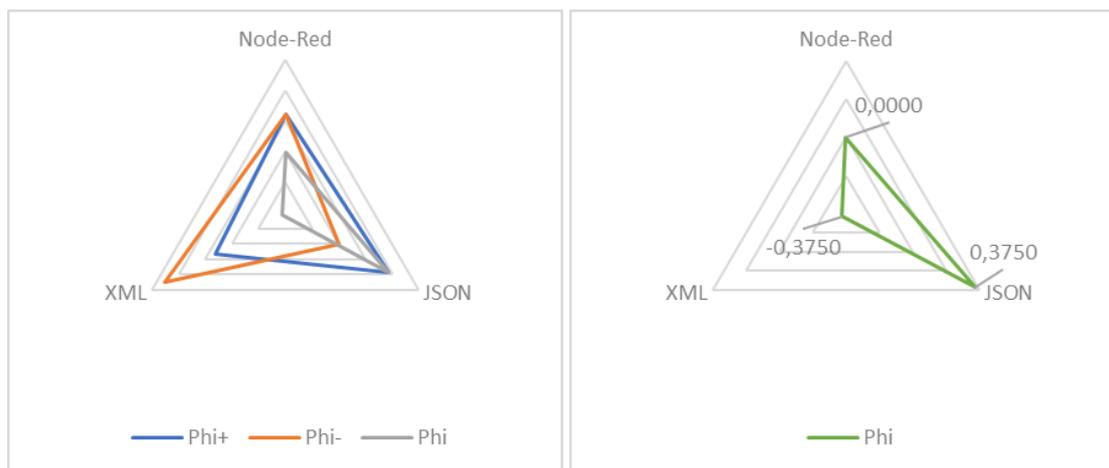


Figura 80 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

Os números constados na Tabela 102 apresentam os valores de Phi obtidos para cada barreira de interoperabilidade analisada frente as alternativas existentes. Com base nisso, percebe-se a relevância de “JSON” diante das opções listadas. A Figura 81 representa esses valores no formato gráfico.

Barreiras de Interoperabilidade	Análise Detalhada da Comunicação	Necessidade de adicionar o ADR aos recursos de <i>software</i>	Taxas de Dados Adaptativas (ADR) não suportadas
<b>Tecnologias de <i>Information</i></b>			
Node-Red	0,5000	-1,0000	0,0000
JSON	0,5000	0,5000	0,0000
XML	-1,0000	0,5000	0,0000

Tabela 102 – Quadro relacional no Promethee para as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

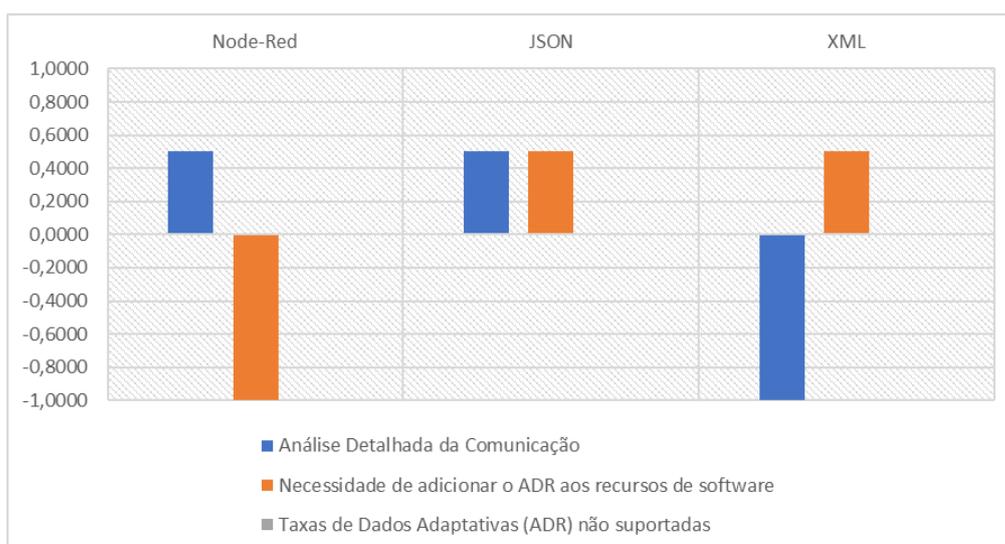


Figura 81 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de *Information*.

FONTE: O AUTOR.

### 5.5.2.5 Camada de Funções (*Functional*)

Os dados constados na Tabela 103 representam os valores da relação entre as barreiras de interoperabilidade e as tecnologias da camada de *Functional* denominadas plataformas IoT. Originalmente, eram 20 alternativas que foram listadas com base nas informações da literatura. Para a avaliação propositiva foram consideradas somente as cinco que obtiveram os maiores valores de Phi no modelo Promethee da fase referencial. Dessa forma, somente “IBM IoT”, “Thingworx”, “AWS”, “Lelylan” e “PLAT.ONE” são abordadas no estudo. Nenhum dos cálculos realizados deteve algum número positivo ou divisão por zero. Isso reforça que as possíveis soluções indicadas possuem características favoráveis para o trabalho com os dados apurados da PoC. A alternativa que possuir o menor valor negativo, tende a ser a mais recomendada. Sendo assim, percebe-se que “IBM IoT” se posicionou melhor em relação as demais. Tal fato se tornará mais conclusivo quando esses valores forem devidamente ranqueados na escala de nove pontos do Promethee, e assim imputados para a obtenção do Phi resultante que corrobore com a análise. A Tabela 104 contém o ranqueamento estipulado.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b> <b>Tecnologias de Functional</b>	Escalabilidade	Estabilidade	Flexibilidade	Protocolos	Business Case	Modelo de Preços	Serviços	Tipos de Dados	Visualização
IBM IoT	-1,4591	-1,1208	-0,9647	-1,2738	-0,9817	-1,2068	-1,1570	-0,4931	-1,6022
Thingworx	-1,6461	-1,2717	-1,0623	-1,6329	-1,1914	-1,4646	-1,4041	-0,5961	-1,6022
AWS	-1,6461	-1,3624	-1,0623	-1,6329	-1,1914	-1,4646	-1,4041	-0,5961	-1,6022
Lelylan	-1,6461	-1,3624	-1,0623	-1,6329	-1,1914	-1,4646	-1,4041	-0,5961	-1,6022
PLAT.ONE	-1,6461	-1,3624	-1,0623	-1,6329	-1,1914	-1,4646	-1,4041	-0,5961	-1,6022

Tabela 103 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

#### Escalonamento

Valor	Escala	Descrição
-0,4931	9,0000	Muito Alta
-0,5961		
-0,9647	8,0000	Muito Alta-Alta
-0,9817		
-1,0623	7,0000	Alta
-1,1208	6,0000	Médio-Alta

-1,1570		
-1,1914		
-1,2068		
-1,2717	5,0000	Médio
-1,2738		
-1,3624	4,0000	Médio-Baixo
-1,4041	3,0000	Baixo
-1,4591		
-1,4646		
-1,6022	2,0000	Muito Baixo-Baixo
-1,6329	1,0000	Muito Baixo
>= -1,6461		

Tabela 104 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

A Tabela 105 apresenta o resultado final dos valores de Phi após a realização da análise via método Promethee. Como previamente mencionado, a plataforma “IBM IoT” é a mais indicada para o experimento por conseguir superar as devidas barreiras identificadas e atender também os requisitos funcionais considerados mais relevantes para a aplicação. Além de possuir os recursos tradicionais de *analytics*, destaca-se também por ter outras funcionalidades, denominadas APIs (*Application Programming Interface*), onde as informações oriundas dos sensores IoT poderão ser trabalhadas de forma que forneçam o maior número de elementos possíveis ao usuário final no acompanhamento do processo logístico de monitoramento das embalagens. Como segunda alternativa, embora tenha apresentado um valor de Phi negativo, tem-se a plataforma Thingworx que tem por característica deter uma aplicação mais voltada ao ambiente industrial, sobretudo manufatura e manutenção. Em relação as demais apontadas, destaca-se a AWS da Amazon que foi mal avaliada em relação as condições apresentadas da empresa. Isso indica que muitas vezes a análise frágil incluindo apenas o nome da marca pode encaminhar os tomadores de decisão para um caminho crítico. A Figura 82 apresenta os dados de Phi em gráfico radar.

Cálculo Phi			
Tecnologias de <i>Functional</i>	Phi+	Phi-	Phi
IBM IoT	0,7900	0,0000	0,7900
Thingworx	0,0525	0,1975	-0,1450
AWS	0,0000	0,2150	-0,2150
Lelylan	0,0000	0,2150	-0,2150

PLAT.ONE 0,0000 0,2150 -0,2150

Tabela 105 – Valores de Phi para as tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.



Figura 82 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

Analisando os dados de Phi de forma mais profunda através da Tabela 106, percebe-se o predomínio de “IBM IoT” sob as outras plataformas IoT listadas. Visualmente, a Figura 83 reforça ainda mais esse ponto. Em todas as barreiras avaliadas, “IBM IoT” esteve à frente, sendo similar apenas em “Tipos de Dados” e em “Visualização”. De fato, esses elementos são muito triviais nas plataformas IoT modernas. Há inúmeros recursos técnicos de tratamento de dados embutidos e *dashboards* inteligentes que permitem com que o usuário tenha acesso as informações de forma otimizada.

Barreiras de Interoperabilidade Tecnologias de <i>Functional</i>	Escalabilidade	Estabilidade	Flexibilidade	Protocolos	<i>Business Case</i>	Modelo de Preços	Serviços	Tipos de Dados	
								Tipos de Dados	Visualização
IBM IoT	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
Thingworx	-0,2500	0,5000	-0,2500	-0,2500	-0,2500	-0,2500	-0,2500	0,0000	0,0000
AWS	-0,2500	-0,5000	-0,2500	-0,2500	-0,2500	-0,2500	-0,2500	0,0000	0,0000
Lelylan	-0,2500	-0,5000	-0,2500	-0,2500	-0,2500	-0,2500	-0,2500	0,0000	0,0000
PLAT.ONE	-0,2500	-0,5000	-0,2500	-0,2500	-0,2500	-0,2500	-0,2500	0,0000	0,0000

Tabela 106 – Quadro relacional no Prometheus para as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

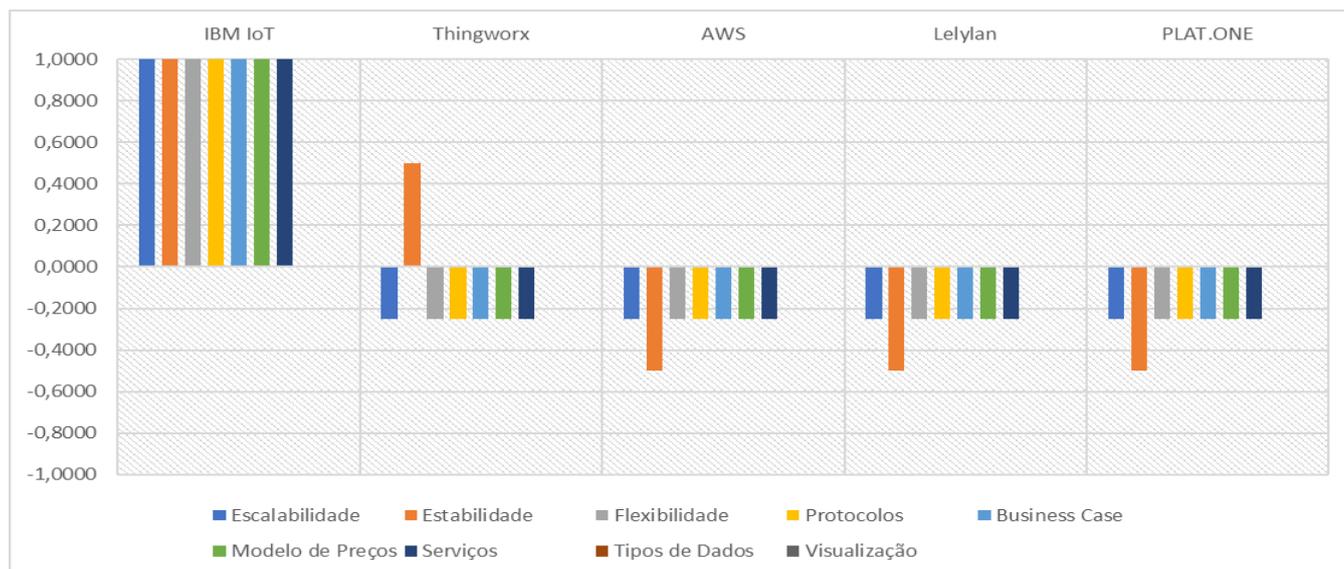


Figura 83 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de *Functional*.

FONTE: O AUTOR.

#### 5.5.2.6 Camada de Decisão (*Business*)

A camada de decisão, denominada *Business*, tem como objetivo definir qual será o direcionamento estratégico sobre a definição da tecnologia que se deseja adotar para a PoC de Rastreabilidade de Embalagens. “LoRaWAN”, “SigFox”, “LTE CAT-M1” e “NB-IoT” já foram mensuradas na camada de *Assets*, onde se definiu que a primeira seria a solução mais pertinente. No entanto, aquela análise levou em consideração apenas critérios e barreiras técnicas, com foco direcionado aos sensores IoT, desconsiderando elementos que garantam a escalabilidade da tecnologia escolhida e os devidos custos que ela possui. Sob essa determinação, é que o modelo Promethee de *Business* foi constituído e forneceu os dados apresentados na Tabela 107. Na avaliação dos dispositivos IoT (*Assets*) não foram considerados como alternativas “LTE CAT-M1” e “NB-IoT”. Para *Business*, elas foram listadas porque são tecnologias que detêm o seu serviço fornecido por operadores celulares, muito embora ainda não disponível no Brasil, caracterizando uma opção de rede pública. Para a rede privada, com possível adaptação para uma rede pública, tem-se as alternativas “LoRaWAN” e “SigFox”, que são as mais acessíveis para o cenário nacional. Para efeitos de comparação se pensou em desenvolver esse tipo de

avaliação de forma a não somente relacionar tecnologias, e sim o contexto de atuação da rede pública e privada. Sendo assim, a Tabela 107 reforça o resultado já determinado na camada de *Assets* de que a melhor alternativa para a organização é a adoção da tecnologia “LoRa/LoRaWAN”. Na sequência tem-se “SigFox”, já atuante no Brasil em aplicações de rastreabilidade de embalagens, e, por fim, aparecem as redes celulares pelos motivos já relatados. Graficamente, os valores de Phi são apresentados na Figura 84.

Cálculo Phi			
Tecnologias de <i>Business</i>	Phi+	Phi-	Phi
LoRaWAN	1,0000	0,0000	1,0000
SigFox	0,4433	0,3333	0,1100
LTE CAT-M1	0,0000	0,5550	-0,5550
NB-IoT	0,0000	0,5550	-0,5550

Tabela 107 – Valores de Phi para as tecnologias de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

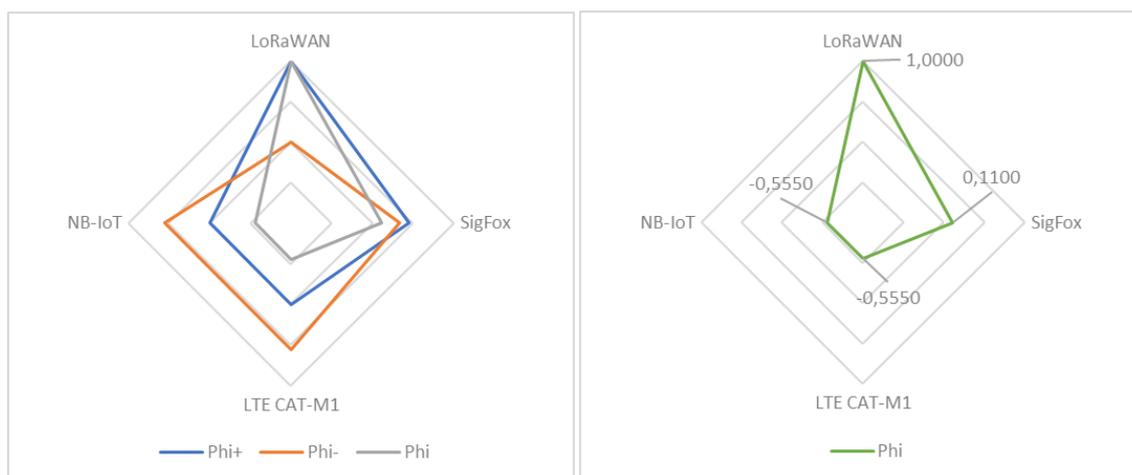


Figura 84 – Representação dos valores de Phi para definição das tecnologias de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

Para determinar os dados de entrada no modelo Promethee, utilizou-se como referência os valores calculados contidos na Tabela 109. As barreiras de interoperabilidade utilizadas para essa avaliação são de *Business* do tipo tecnológico e semântico. Seus elementos foram reunidos numa única avaliação de forma que a modelagem fosse melhor otimizada. Analisando os números da Tabela 109, percebe-se o predomínio da tecnologia “LoRaWAN” que se confirma quando se tem os valores de Phi presentes na Tabela 111 onde mostra a relevância desta solução sob o domínio das limitações elencadas. A Tabela 108 detém o ranqueamento os dados obtidos na Tabela 109 através do

cálculo relacional entre os Phis resultantes da Face S1 (Referencial) e Face S2 (Diagnóstica) numa escala de nove pontos. Graficamente, é possível verificar o resultado que recomendou o uso da tecnologia “LoRaWAN” na Figura 85.

Escalonamento		
Valor	Escala	Descrição
-0,5128	9,0000	Muito Alta
-0,5467		
-0,8295	8,0000	Muito Alta-Alta
-0,8472		
-0,8803		
-1,0000	7,0000	Alta
-1,0286		
-1,0486		
-1,0661		
-1,1124	6,0000	Médio-Alta
-1,5823	5,0000	Médio
-1,6285		
-1,7405	4,0000	Baixo-Médio
-1,7549		
-2,1058	3,0000	Baixo
-2,1855		
-2,5713		
-3,3060	2,0000	Muito Baixo-Baixo
-3,9556		
-20,5601	1,0000	Muito Baixo
-24,6310		
>= -26,1292		
>= 0,0000		
∞		

Tabela 108 – Distribuição dos valores a serem inseridos no Promethee para as tecnologias de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>	Necessidade de Infraestrutura para Disseminar Informações no Canal	Acesso fácil ao <i>hardware</i>	Capacidade Limitada	Sistema de Segurança pouco robusto	Varição do tipo de <i>hardware</i> e recursos	Mobilidade	Ambiente <i>Indoor</i>	Distância do Gateway	Ajuste de Desempenho	Desvio de Frequência	Estudo Analítico de Energia	Estudo Analítico de Escalabilidade	Problema de Otimização	Menção Errônea sobre Capacidade de gerar Ganhos	Não contém todos os Recursos Operacionais Mandatório
<b>Tecnologias de Business</b>															
LoRaWAN	-0,5467	-1,1124	-0,8295	-1,0486	-3,3060	-1,0486	-0,8803	-1,0000	-1,5823	-1,0286	-0,5128	-0,8472	-1,0486	-1,0661	-0,8472
SigFox	10,7181	-26,1292	-3,9556	-24,6310	#DIV/0!	-24,6310	-1,6285	#DIV/0!	-20,5601	-2,5713	-1,7405	-2,1058	9,8607	-2,1855	-1,7549
LTE CAT-M1	2,5509	3,7342	1,9048	3,5201	#DIV/0!	3,5201	1,2214	#DIV/0!	2,9383	2,5713	0,6602	1,7979	2,3469	2,1855	2,1680
NB-IoT	0,7440	1,4938	1,0714	1,4081	3,3060	1,4081	1,0737	1,0000	2,9383	1,0286	0,9903	0,9100	2,3469	1,0661	0,7759

Tabela 109 – Cálculo dos valores resultantes para a Face 03 para definição das tecnologias de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

<b>Barreiras de Interoperabilidade</b>	Necessidade de Infraestrutura para Disseminar Informações no Canal	Acesso fácil ao <i>hardware</i>	Capacidade Limitada	Sistema de Segurança pouco robusto	Varição do tipo de <i>hardware</i> e recursos	Mobilidade	Ambiente <i>Indoor</i>	Distância do Gateway	Ajuste de Desempenho	Desvio de Frequência	Estudo Analítico de Energia	Estudo Analítico de Escalabilidade	Problema de Otimização	Menção Errônea sobre Capacidade de gerar Ganhos	Não contém todos os Recursos Operacionais Mandatório
<b>Tecnologias de Business</b>															
LoRaWAN	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
SigFox	-0,3333	-0,3333	0,3333	-0,3333	-0,3333	-0,3333	0,3333	-0,3333	-0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	-0,3333	0,3333	0,3333
LTE CAT-M1	-0,3333	-0,3333	-0,6667	-0,3333	-0,3333	-0,3333	-0,6667	-0,3333	-0,3333	-0,6667	-0,6667	-0,6667	-0,3333	-0,6667	-0,6667
NB-IoT	-0,3333	-0,3333	-0,6667	-0,3333	-0,3333	-0,3333	-0,6667	-0,3333	-0,3333	-0,6667	-0,6667	-0,6667	-0,3333	-0,6667	-0,6667

Tabela 110 – Quadro relacional no Promethee para as barreiras de interoperabilidade e tecnologias de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

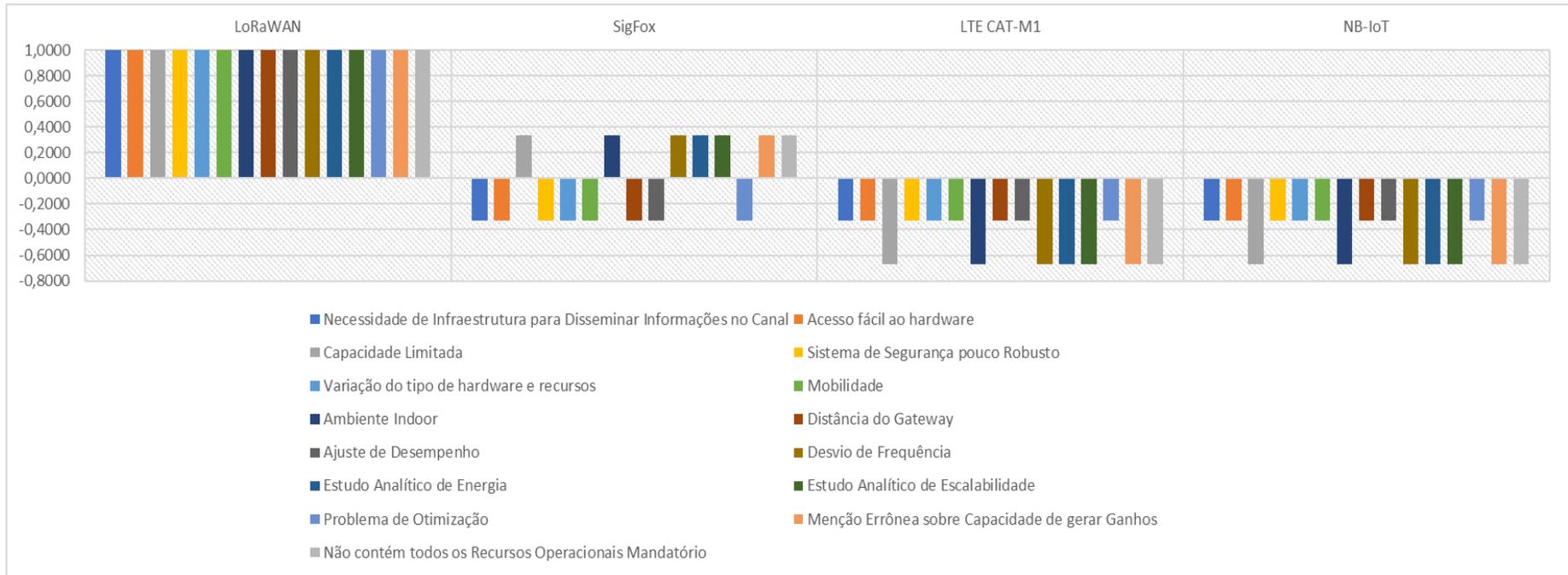


Figura 85 – Representação dos valores de Phi para a escolha das tecnologias de *Business*.

FONTE: O AUTOR.

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a instrumentação do *framework* RDPM I4.0, apresentada no Capítulo 05, faz-se necessário uma análise mais detalhada em relação aos resultados obtidos para os três modelos desenvolvidos tendo como base os conceitos da PoC de Rastreabilidade de Embalagens. O agrupamento das informações, obedecendo a estrutura do RAMI 4.0, permite visualizar se as tecnologias definidas na Face S1 foram devidamente consideradas na Face S3 não havendo interferência direta das barreiras de interoperabilidade levantadas na Face S2. Com isso é possível enxergar o tamanho da influência desses *gaps* diante da implementação do experimento dentro da organização. Dessa forma, a seção 6.1 trata de avaliar os dados resultantes do modelo referencial (S1). A seção 6.2 traz um detalhamento em relação ao diagnóstico (S2) que apontou a relevância das barreiras e o consequente impacto diante dos requisitos funcionais. A seção 6.3 apresenta as soluções técnicas definidas (S3) e indicadas aos responsáveis pela PoC a serem consideradas na aplicação. Por fim, mas não menos importante, tem-se a seção 6.4 que apresenta a solução escolhida pela empresa.

### 6.1 ANÁLISE DA FACE S1 (MODELO REFERENCIAL)

A Figura 86 destaca as tecnologias que foram melhor ranqueadas para compor a solução da PoC de Rastreabilidade de Embalagens. Do lado esquerdo da imagem tem-se as camadas que constituem o *framework* RAMI 4.0. Ao centro, tem-se as tecnologias indicadas após as avaliações na fase referencial dentro da pirâmide. No lado direito, cita-se alguns requisitos funcionais considerados mais significativos para cada *layer* em destaque.

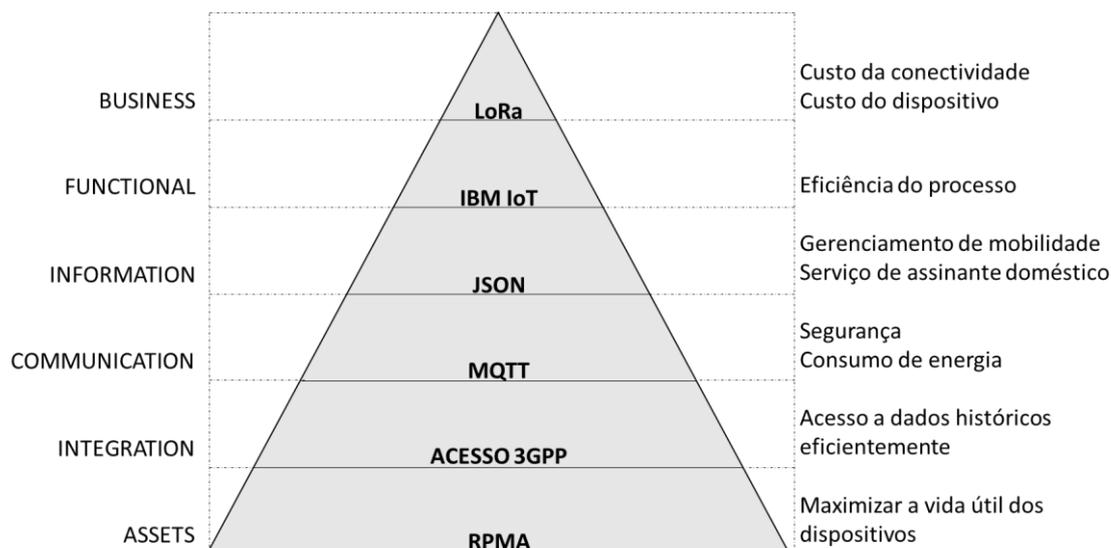


Figura 86 – Soluções tecnológicas apontadas pela Face 01 (S1 – Referencial).

FONTE: O AUTOR.

Na camada de *Assets* a tecnologia recomendada foi RPMA. Ela apresentou valores significativos em quase todos os critérios, excetuando apenas “Suporte TCP/IP” e “Capacidade Total da Rede”. A sua melhor avaliação consistiu em “Seleção de Canal” que faz referência a cobertura que a rede pode ter em área aberta. No entanto, ressalta-se que essa tecnologia é oriunda de rede celular e ainda não está disponível no Brasil. Ela foi compilada no estudo para que se possa ter uma visão mais ampla das soluções IoT LPWAN existentes no mercado. Partiu-se do princípio que, embora ainda não acessível, quando esta estiver presente no cenário nacional pode ser considerada uma opção viável para determinados casos de uso. Ela tem por finalidade ser aplicada numa rede pública, similar as redes de telefonia celular atuais, para que seu serviço seja comercializado pelas operadoras. Sendo assim, a relevância neste momento é torná-la conhecida por parte dos tomadores de decisão que forem acessar os dados resultantes. Na avaliação, não foi considerada apenas RPMA como alternativa ainda não existente no Brasil, mas também “LECIM”, “IEEE 802,11ah”, “LTE-M” e “NB-IoT”. Sobraria apenas duas soluções de real aplicação: “LoRaWAN” e “SigFox”. Tal fato pode ser considerado como uma limitação da pesquisa ao utilizar elementos no estudo que, no momento atual, não seriam adotados.

Na camada de integração (*Integration*) tem-se a alternativa “Acesso 3GPP” como a mais indicada a atender o case em questão. O requisito funcional considerado o mais relevante na ponderação é “Acesso a Dados Históricos

Eficientemente” onde a tecnologia mencionada obteve um bom ranqueamento. Os elementos contidos nessa avaliação não são tão triviais para uma tomada de decisão a nível gerencial. Por isso que os argumentos a serem usados precisam ser compreendidos pelo grande público. Requisitos levantados como “Escalabilidade”, “Complexidade de Implementação”, “Acesso aos Dados Históricos” e “Fácil Gerenciamento de Dispositivos” dão o suporte necessário para a compreensão das funcionalidades dessas tecnologias e, em paralelo, fomentam a importância da camada de integração para uma aplicação de PoC ou, até mesmo, de um projeto.

Para a camada de comunicação (*Communication*), a alternativa que mais se adequou aos requisitos funcionais listados foi o protocolo “MQTT”. Destacam-se como os critérios mais relevantes para essa avaliação “Segurança” e “Consumo de Energia” mencionados na Figura 86. “MQTT” obteve um ranqueamento consistente em todos os requisitos que compõem *Communication*. Há uma pequena diferença em relação ao “CoAP”, seu concorrente mais próximo, que se dá por causa do tempo de resposta de “CoAP” ser mais elevado do que o do “MQTT”. O protocolo “MQTT” tem sido muito utilizado em ambientes de sensoriamento IoT devido ao seu fácil manuseio e a flexibilidade de adaptação para com distintos servidores em nuvem.

A camada de *Information* teve como opção mais válida a definição do uso da linguagem “JSON”. Isso se deve aos critérios de segurança denominados “Gerenciamento de Mobilidade” e “Serviço de Assinante Doméstico” pertencentes ao atributo de “Autenticação e Autorização”. “JSON” é mais um dos recursos técnicos de interface que tem ganhado destaque no formato de envio de determinadas informações e na flexibilidade de adaptação. Em relação ao modelo constituído, as três alternativas existentes “JSON”, “Node-Red” e “XML” detiveram valores muito próximos por causa que os requisitos funcionais apontados não ocasionavam divergências entre elas. Pode-se listar isso como uma fragilidade dos elementos coletados na literatura que não trouxeram os critérios mais significativos para o contexto que está sendo estudado. Por fim, faz-se uma ressalva que pode haver mais tecnologias a serem empregadas para aspectos voltados a formatação de transferência de dados. Sob o domínio da literatura, foram encontradas somente as três já mencionadas.

Na camada de *Functional*, a “Eficiência do Processo” foi o requisito funcional considerado o mais relevante na análise dos critérios obtidos na literatura. Isso

contribuiu para que “IBM IoT” fosse a plataforma IoT que mais conteve elementos favoráveis para implementação do case. “Integração”, “Protocolos de Segurança”, “Controles de Redes IoT” também se destacam como os requisitos que impulsionaram a escolha da plataforma da IBM. Foram listadas vinte plataformas que incluem características variadas, desde a implantação em ambiente industrial até o uso de dados triviais do dia a dia (informações como temperatura, humidade, pressão atmosférica). Algumas foram adquiridas por grandes *players* do mercado, como Google e Cisco, de forma que suas funcionalidades fossem melhor aprimoradas e se tornassem viáveis financeiramente. Optou-se por inserir uma variedade considerável de plataformas IoT para que se pudesse ter uma visão mais clara da expansão do tema frente a realidade proporcionada pela I4.0. Há uma probabilidade grande de muitas virem a surgir num futuro próximo.

Por fim, tem-se a camada de *Business* que está diretamente vinculada com as plataformas IoT e tecnologias LPWAN. Dois dos três atributos definidos, “Estrutura de Implementação IoT” e “Segurança de Plataformas IoT” fizeram parte do modelo AHP que definiu os pesos de cada requisito. Entretanto, no momento de correlacionar as informações com as alternativas existentes, todas fazendo relação as redes IoT LPWAN, não foi possível encaixar os elementos pertencentes aos atributos de plataformas IoT no modelo Promethee. Subentendeu-se que essas informações já foram abordadas na camada de *Functional*, portanto, elas foram desconsideradas da camada de *Business*, sendo apenas relacionadas as que tem características pertinentes as soluções IoT LPWAN. Baseado nisso, chegou-se à conclusão de que a tecnologia “LoRa/LoRaWAN” é mais significativa para a camada de *Business*, sobretudo pelos critérios de “Flexibilidade de Implementação” e “*Open Source*”. Foi constatado na avaliação as tecnologias de rede celular “LTE Cat-M1” e “NB-IoT” que, conforme já mencionado, ainda não estão homologadas para atuar no território nacional.

## 6.2 ANÁLISE DA FACE S2 (MODELO DIAGNÓSTICO)

Com base na Figura 87, é possível verificar quais foram as barreiras de interoperabilidade (lado esquerdo da imagem) que mais impactam nos requisitos funcionais listados dentro da pirâmide hierárquica. Novamente, as camadas do RAMI 4.0 estão constadas no lado direito da imagem. Percebe-se que determinadas

limitações causaram em alguns critérios, considerados relevantes pela abordagem realizada na Face S1 (Referencial), forte interferência contribuindo para a alteração da solução delimitada pela literatura.



Figura 87 – Requisitos críticos apontados pela Face 02 (S2 – Diagnóstico).

FONTE: O AUTOR.

Na camada de *Assets*, o requisito funcional “Aplicações Adequadas” não foi considerado significativo para a avaliação. Ele pertence ao atributo de “Escalabilidade” que deteve uma ponderação inferior apenas a “Eficiência Energética”. Porém, uma definição errônea por parte do tipo de aplicação poderá gerar consequências muito danosas ao experimento. Exemplifica-se tal afirmação através da barreira que impactou no critério citado denominada “Distância em Relação aos *Gateways*”, tanto para ambiente externo quanto para o interno. Prover uma área de cobertura satisfatória não é tão simples para a PoC de Rastreabilidade de Embalagens. Por ser um material que transita na fábrica, e fora dela, constantemente, torna-se um grande desafio encontrar os pontos certos que consigam captar todos os sensores sem ocasionar quaisquer perdas de dados. Embora o trajeto seja definido (entradas e saídas estabelecidas), devido ao fluxo ser intenso é muito complexo garantir que a embalagem se manterá na mesma posição delimitada quando estiver se movimentando na área logística. Isso requer um acompanhamento mais efetivo para se fazer os ajustes necessários de posicionamento do *gateway*. Por isso que a Prova de Conceito se torna válida para estes casos. É fundamental determinar essas limitações oriundas do processo numa

fase de teste do conceito. Reforça-se a importância de se ter identificado essa barreira na fase diagnóstica da implementação.

A camada de integração aportou um efeito negativo ao requisito “Interface de Comunicação e Efeitos de Tráfego”. Este elemento pertence ao atributo “Critérios de Integração” cuja preocupação também envolve aspectos relacionados a segurança das informações. Destaca-se como a barreira mais crítica apontada para o *layer* de integração a “Capacidade Limitada de Sistemas de Segurança”. Embora na avaliação feita através do quadro relacional do Promethee não ter apontado essa barreira como a que mais interferiu no requisito citado, é possível afirmar que há uma relação direta entre eles. Os sensores, também chamados de *end nodes*, não tem capacidade suficiente para suportar sistemas de segurança robustos. Isso impactará no custo do produto final podendo tornar a solução mais cara, acarretando no tempo de retorno do investimento. As consequências que isso pode gerar para a interface de comunicação e no transporte de dados não pode ser desprezada. É possível que haja uma alteração na latência da comunicação. Sob o ponto de vista de um experimento, esse item até pode ser desconsiderado por hora. No entanto, se o conceito atingir patamares de projeto, todos os aspectos relacionados à segurança precisam ser redefinidos. Destaca-se a importância de se levantar esse ponto crítico numa PoC em planejamento.

Para a camada de comunicação foi relatado que o requisito funcional de nome “Segurança” foi o que teve maior impacto das barreiras de interoperabilidade, sobretudo a denominada “Tipo de Aplicação”. Novamente, segurança volta a ser o tema abordado, o que corrobora com a sua importância diante da arquitetura que está sendo proposta. Na camada de *Integration* esse item já havia sido mencionado mais sob o quesito do envio de informações dos *gateways* direto para o servidor na nuvem. A camada de comunicação é mais caracterizada pela formalização, via protocolo, desse processo. Por isso que o critério de segurança se torna mais crítico, mesmo se considerando uma Prova de Conceito. Sendo assim, o tipo de aplicação precisa ser muito bem fundamentado de forma que a variação e o volume de dados que se irá trabalhar seja mapeado devidamente para que se evite qualquer impedimento quanto a continuidade da aplicação.

Na camada de integração, o requisito funcional que sofreu maior interferência das barreiras apontadas foi em relação ao formato flexível da concepção dos dados. A limitação denominada “Análise Detalhada da Comunicação LoRa” deteve maior

impacto muito mais pelo seu peso (definido no modelo AHP), que foi a mais preponderante frente as outras barreiras existentes na camada de integração, do que por um vínculo direto com a flexibilização das informações a serem enviadas para a plataforma IoT. A solução LoRa tem por característica a flexibilização na implementação sendo muitas vezes caracterizada como *open source*. Sendo assim, dizer que ela impacta na flexibilização dos dados pode parecer um pouco incoerente, porém factível quando se menciona a realidade vigente da organização. O formato das informações a serem enviadas foi pré-definido pela matriz da empresa seguindo como base a mesma aplicação executada em uma das fábricas na Europa. Não necessariamente os mesmos dados a serem priorizados para o case no Brasil serão os mesmos adotados na França. Esse engessamento pode interferir na flexibilização com que os elementos são tratados. Dessa forma, verifica-se que, para este caso, não é uma limitação vinculada a um aspecto conceitual, e sim a uma adaptabilidade local.

Para a camada de *Functional*, o requisito funcional mais significativo, chamado “Eficiência do Processo”, foi o que se viu mais impactado pelas barreiras de interoperabilidade. “*Business Case*” foi uma delas que, embora não tenha sido a mais preponderante na relação direta com “Eficiência do Processo”, é a que detém o maior peso frente as demais barreiras de *Business* do tipo organizacional. Os dois itens estão fortemente conectados, uma vez que fazem referência as variáveis associadas ao processo. Para o uso correto das plataformas IoT, é preciso que se tenha uma visão ampla de que tipo de informação será tratada com mais demasia para que não se opte por uma solução que não contenha as funcionalidades pertinentes ao case proposto. Sendo assim, reforça-se a necessidade de se delimitar muito bem as características do processo elencando todas as entradas e saídas por onde as embalagens irão percorrer e quais serão os momentos cruciais onde o monitoramento precisará estar sendo realizado de forma efetiva. Quando se trata de um processo logístico de uma empresa de grande porte operando por 24 horas durante 6 ou 7 dias por semana, percebe-se que o nível de complexidade tende a ser enorme. Para a PoC, somente 10 embalagens serão rastreadas em caráter experimental. Na realidade, se tem em torno de 40000 embalagens dispostas no pátio circulando interna e externamente até os fornecedores. Sem um levantamento prévio, se torna impraticável definir a melhor plataforma IoT. Essa é

uma limitação bastante robusta, que requer uma atenção especial desde a fase experimental do conceito.

Por fim, tem-se a camada de *Business* onde o requisito funcional de “Propriedade de Operadora Celular” foi o mais afetado diante das barreiras existentes. Destacam-se as que tiveram maior interferência direta as pertencentes ao atributo “Tecnologias LPWAN” onde o critério “Comunicação” foi apontado como o mais significativo frente aos demais presentes. No entanto, conforme mostrado pela Figura 83, a barreira que deteve a maior ponderação foi “Menção Errônea sobre a Capacidade de gerar Ganhos” que está vinculada diretamente com as plataformas IoT pelo fato de as funcionalidades que as constituem não serem devidamente precisas para reportar os possíveis ganhos que serão gerados a organização. Sob o ponto de vista de rede pública, no qual pertence as redes celulares, de fato pode haver um impacto considerável nas plataformas IoT dependendo do tipo de aplicação que se esteja trabalhando e no volume de informações que é transportada em tempo real. Esse tipo de controle requer uma atenção especial por parte de quem oferece o serviço e de quem o está contratando. Tal fato precisa de elementos mais apurados que corroborem para uma tomada de decisão mais assertiva. A simples relação entre “Propriedades de Operadora Celular” com “Menção Errônea sobre Capacidade de gerar Ganhos” transparece uma avaliação muito genérica e de difícil conclusão prática. Talvez haja necessidade de se detalhar um pouco mais ambos os elementos trazendo informações que permitam identificar o real impacto de uma rede pública na concepção das funcionalidades de uma plataforma IoT. Faz-se necessária essa observação para que em futuros trabalhos isso seja aprimorado.

### 6.3 ANÁLISE DA FACE S3 (MODELO PROPOSITIVO)

Após serem destacados os resultados obtidos nas Face S1 (Referencial) e Face S2 (Diagnóstica) tem-se a última etapa do *framework* RDPM I4.0 que engloba a superfície S3 (Propositiva) onde será estabelecido se as tecnologias habilitadoras da fase referencial permanecem ou se serão alteradas diante da interferência imposta pelas barreiras de interoperabilidade dentro da organização. Com base nisso, a Figura 88 destaca o panorama final para a PoC de Rastreabilidade de Embalagens onde se verifica que houve uma mudança em relação ao modelo de referência, vide Figura 87, nas alternativas preferências nas camadas de *Assets* e

*Integration.* No lado esquerdo, estão listadas as barreiras nos quais subentende-se que essas tecnologias conseguirão superar frente a realidade da aplicação do case nas condições existentes.

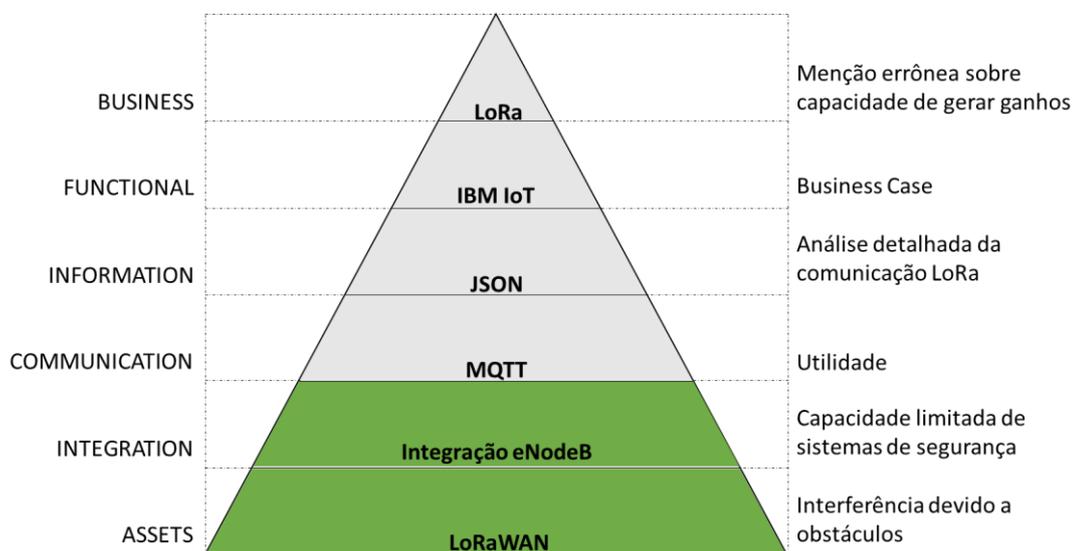


Figura 88 – Soluções tecnológicas definidas pela Face S3.

FONTE: O AUTOR.

Na camada de *Assets*, “LoRaWAN” atende melhor a barreira vinculada a interferência do sinal oriunda dos diversos tipos de obstáculos presentes no ambiente logístico. A flexibilização do posicionamento dos *gateways*, a customização frente algumas demandas do processo e a adaptabilidade dos dispositivos IoT fazem com que ela seja recomendada para se iniciar o experimento. “LoRaWAN” tem sido usada em diversos *cases* no Brasil que não envolvem somente a rastreabilidade de embalagens ou produtos, e sim no monitoramento de torres de transmissão de energia para auxiliar a equipe de manutenção na identificação de falhas, entre outras aplicações correlacionadas.

Para a camada de integração, destaca-se a mudança da tecnologia de “Acesso 3GPP” para “Integração eNodeB”. Isso se deve pelo fato da última ser a mais recomendada em aspectos voltadas a segurança ganhando representação frente a barreira de “Capacidade Limitada de Sistemas de Segurança” nos dispositivos IoT. Todo tipo de protocolo ou tecnologia que detenha uma atenção voltada a critérios de segurança tende a ser bem avaliada para implementações onde se tenha a pretensão de escalabilidade.

Para as demais camadas, não houve alteração estipulada pelo método empregado na Face S3 sendo mantida as mesmas definições já mencionadas na seção 6.1. O protocolo “MQTT”, a linguagem de formatação de dados “JSON”, a plataforma IoT “IBM IoT” e a tecnologia IoT de longa distância “LoRa/LoRaWAN” detiveram valores expressivos de Phi as capacitando como as melhores soluções a serem empregadas para a Prova de Conceito.

Dessa forma, conclui-se a avaliação utilizando a abordagem metodológica imposta pelo *framework* RDPM I4.0 para a PoC de Rastreabilidade de Embalagem. É prudente reforçar que todas as informações apresentadas neste relatório são oriundas de um estudo intenso sobre o tema onde se observou a possibilidade de aplicação das tecnologias IoT LPWAN para atender as necessidades do setor logístico da companhia. Tais elementos poderão ajudar os gestores e líderes de projetos em tomadas de decisão não somente para um experimento, mas como para um projeto vinculado a Transformação Digital nos próximos anos. A própria PoC apresentada poderá conter resultados satisfatórios que corroborem para uma escalabilidade em áreas que detenham interesse. Há pontos de melhoria no método proposto que precisam ser melhor refinados para que se garanta uma usabilidade mais abrangente do *framework*. Ressaltando que ele pode ser usado para qualquer iniciativa de inovação que necessite determinar a melhor tecnologia a ser adotada numa empresa que está dando os primeiros passos para entrar na Era Digital.

#### 6.4 SOLUÇÃO DEFINIDA PELA ORGANIZAÇÃO

A multinacional no Brasil decidiu seguir como referência a mesma arquitetura definida numa PoC implementada na França que obteve o resultado esperado. A Figura 89 apresenta as soluções determinadas pela equipe de gestores no formato das camadas do RAMI 4.0 para auxiliar na comparação com os dados obtidos através do *framework* RDPM I4.0. Duas observações pertinentes estão voltadas aos *layers* de *Integration* e *Functional*. Em relação a primeira, não se teve acesso a esta informação por não haver elementos suficientes por parte da pesquisa para fazer esse questionamento aos profissionais mais técnicos. Durante o processo de planejamento, em nenhum momento esse assunto chegou a ser tratado, muito provavelmente por desconhecimento dos envolvidos. Em relação a segunda, a organização possui um contrato já estabelecido com a Amazon onde pode utilizar

todos os seus serviços, incluindo funcionalidade de *analytics* da plataforma IoT, inviabilizando, a priori, uma possível mudança para uma outra solução. Para os resultados obtidos na PoC da França, o uso da plataforma AWS deteve resultados aceitáveis corroborando para a extensão do seu uso em outros sites. As demais camadas possuem as mesmas soluções recomendadas pelo RDPM I4.0 permitindo que se tenha um referencial técnico sólido que sustente as medidas adotadas na PoC.

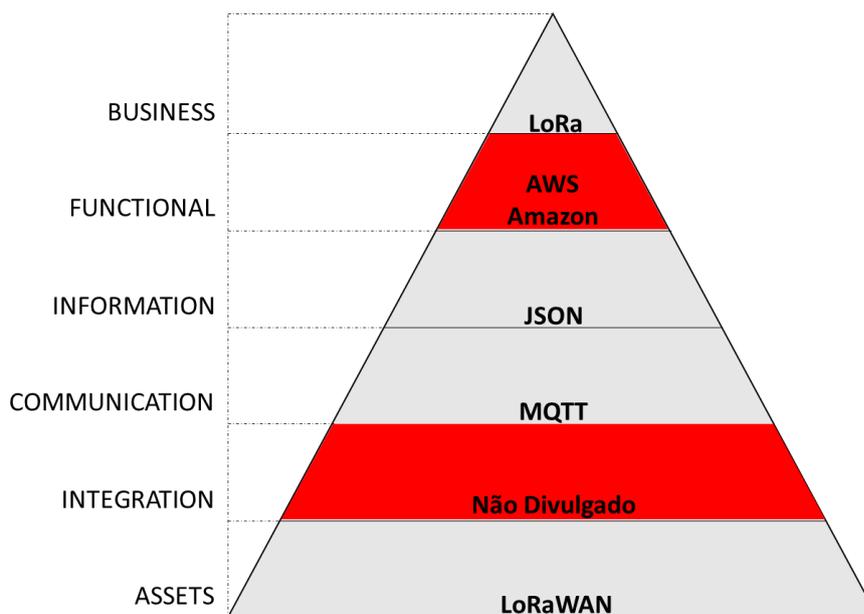


Figura 89 – Tecnologias definidas pela organização.

FONTE: O AUTOR.

O levantamento das informações contidas neste relatório só foi consolidado após o início da etapa de execução da aplicação na organização. Houve uma tentativa de obter esses elementos antes, mas a política da empresa segue uma abordagem de implementação rápida onde certos detalhamentos técnicos e de diagnósticos não são devidamente analisados (vide histórico de iniciativas via PoCs e projetos do Capítulo 03). Esse tipo de metodologia tende a trazer inúmeras desvantagens que, com o passar do tempo, acarretarão em perda de foco e consequente desinteresse pelas áreas de negócios envolvidas por causa da falta de resultados consistentes. Há um outro ponto, não mensurado nesse estudo, mas que pode trazer dificuldades consideráveis, é com relação a escolha do fornecedor que possua as melhores competências para garantir que a implantação seja bem-sucedida. Sem uma avaliação preliminar, o fornecedor tende a trazer uma solução de mercado que não seja compatível com as características do processo ocasionando

sucessivas falhas que terão impacto no tempo de execução da PoC. Ocorreu uma situação durante a fase de implementação que corrobora com esta última afirmação. O fornecedor utilizou o seu servidor para que os dados coletados pelos sensores fossem encaminhados, através dos *gateways*, para alguma base de dados disponível. Não havia nenhum servidor com espaço habilitado para executar esta operação na empresa. No entanto, tais informações deveriam ser enviadas até o servidor na França para que elas pudessem ser processadas na plataforma IoT existente. Para receber esse pacote de dados, eram necessários determinados requisitos de segurança, por parte da área de TI da França, que não foram mapeados previamente. Sendo assim, para permitir que essa comunicação fosse efetivada levou-se em torno de 2 meses para que todos os acessos pudessem ser liberados. Essa é uma comprovação de como a ausência de um estudo prévio pode trazer prejuízos, diretos e indiretos, para a corporação.

Por fim, tem-se constituída uma arquitetura funcional para a execução da Prova de Conceito de Rastreabilidade de Embalagens. Embora certas análises cruciais não tenham sido feitas, por parte da empresa, deu-se início ao processo de execução onde foram instalados os 10 sensores nas embalagens, os 3 *gateways* disponibilizados pelo fornecedor (2 na empresa e 1 no provedor de componentes do veículo) e assim, se consumou até a fase inicial de coleta de informações passando por todas as camadas listadas na Figura 89.

## 7 CONCLUSÃO

A acessibilidade para a digitalização dos processos e para a aquisição de novos dispositivos tecnológicos tem feito com que as empresas se engajem para iniciar o processo de transição para a Indústria 4.0. Algo há pouco tempo considerado distante está cada vez mais próximo determinando o destino de muitas organizações já existentes e ascendendo aquelas que são pouco conhecidas até o momento. Por isso que a forma como toda a gestão e o procedimento são executados tem sido um fator crucial para alavancar as corporações a entrar na Era Digital. Há inúmeras iniciativas processuais de curto prazo surgindo com nomenclaturas variadas como PoCs (Provas de Conceito), PoTs (Provas de Tecnologias), *Test Beds* (Testes de Bancada), entre outras, cujo foco é a validação de um conceito, de uma tecnologia, de uma arquitetura ou, até mesmo, de uma equipe de trabalho. Sendo assim, o *framework* RDPM I4.0 apresentado neste trabalho se enquadra nessa categoria, sob um ponto de vista mais técnico, que permite com que os devidos envolvidos nesses experimentos tenham uma noção mais completa do que já há em termos de tecnologia e os requisitos que as definem (Modelo Referencial), da estrutura da organização frente a essa nova realidade (Modelo Diagnóstico) e, por fim, um apontamento mais efetivo fornecendo uma solução compatível com o ambiente onde se está inserido (Modelo Propositivo).

A metodologia RDPM I4.0 não traz somente elementos que categorizem uma simples iniciativa de inovação, mas critérios relacionados ao desenvolvimento de um projeto de Transformação Digital que, por contextualização, tende a ser mais abrangente do que a Indústria 4.0. Isso reforça a escalabilidade do método constituído, permitindo que atenda distintos campos de atuação. Os métodos MCDM/A, utilizados como ferramenta instrumental (AHP e Promethee), já tem por característica serem aplicáveis para quaisquer *case* que detenha inúmeras alternativas a serem escolhidas seguindo um conjunto de atributos e critérios que possuam níveis de relevância ponderadas matematicamente. Para a PoC de Rastreabilidade de Embalagens, aplicação que serviu de estudo para o *framework* RDPM I4.0, as informações listadas proporcionaram uma visão muito mais ampla do que a organização estava almejando. A oportunidade de se elencar um conjunto de tecnologias, de seus respectivos requisitos funcionais e das barreiras de

interoperabilidade, não só abriu um leque de opções para aquisição de outras iniciativas de inovação, como apontou dificuldades técnicas que precisam ser abordadas pelas equipes de trabalho responsáveis por áreas de atuação estratégicas que participam da composição para introdução da Indústria 4.0 internamente.

O levantamento de informações que suportaram a pesquisa veio da literatura, da visão do ambiente da organização e da consequente formulação matemática que resultou na construção da Face S3 (Modelo Propositivo). Em relação aos artigos coletados, viu-se que a maioria mencionava aspectos técnicos e fazia constantes relações com as dificuldades de implementação, com base nos estudos de casos que constavam nos *papers*, permitindo que fossem coletados dados que corroborassem com as barreiras listadas no relatório. Entretanto, sentiu-se uma falta de elementos que vinculassem mais as questões estratégias que fomentassem a necessidade de se adotar as tecnologias IoT LPWAN. Durante a etapa de busca pelos artigos, não se encontrou nenhum que fizesse esse tipo de associação. Acredita-se que isso se deve pelo fato de ser um tema ainda recente e com viés muito técnico que ainda se posiciona em caráter experimental. Com relação a obtenção dos dados que compuseram a avaliação diagnóstica, usou-se a visão de distintos profissionais do setor de TI que detinham certo conhecimento sobre o tema, a maioria superficialmente. Os colaboradores da área logística ajudaram na avaliação que mais referenciava o processo. No entanto, a visão do pesquisador se tornou a mais predominante em aspectos que envolveram as camadas de *Integration* e *Functional* onde tais profissionais, sobretudo os de TI, não se sentiam confortáveis para opinar sobre determinada análise por não terem o conhecimento necessário para discorrer sobre o tema. Este ponto vem a caracterizar uma fragilidade para com a avaliação diagnóstica. Por fim, mas não menos importante, tem-se uma mudança na metodologia empregada na composição do modelo propositivo da Face S3. Inicialmente, conforme relatado no relatório de qualificação, pensou-se em utilizar o método DEMATEL para avaliar a relação de influência entre os critérios técnicos e os de gestão pertencentes a estratégia da organização. No entanto, a camada de *Business* do *framework* RDPM I4.0 já havia feito essa associação, em caráter superficial, com o uso do método Promethee. Ressalta-se que o DEMATEL tem considerável importância para uma avaliação de elementos

técnicos, porém não se viabilizou o seu uso pela extensão e complexidade no qual o estudo estava se direcionando.

O *framework* RDPM I4.0 se mostrou assertivo para uma iniciativa de inovação que possua um viés técnico embutido. Embora o seu fundamento esteja mais concentrado em determinar uma tecnologia a ser implementada, é possível usar a metodologia para outros fins como, por exemplo, na qualificação de fornecedores que detenham as devidas competências para atender as demandas de um determinado projeto digital. Existe outros campos de aplicação que podem ser mensurados, para isso faz-se necessário uma linha de pesquisa que as trate da forma devida permitindo que o RDPM não esteja vinculado somente a I4.0, mas a outros tópicos que demandem uma análise detalhada, seguindo um procedimento similar ao apresentado nesta dissertação. Em suma, o *framework* proposto possui assertividade e larga escalabilidade podendo ir além de temáticas técnicas, como a abordada neste estudo. Há ainda uma fragilidade frente a agilidade do mesmo para que se possa obter as informações consideradas primordiais em um intervalo de tempo pertinente a iniciativa/projeto que se pretende implementar. Pode se desenvolver diversos campos de estudo para aprimorar o RDPM e torna-lo mais prático. Esta é uma motivação que pode vir a sustentar a continuidade da presente proposta via pesquisa de doutorado.

## REFERÊNCIAS

- Acatech Position Paper. (2011). Cyber-physical systems. **Driving force for innovation in mobility, health, energy and production**. Acatech—National Academy of Science and Engineering. ISBN: 978-3-642-29089-3. DOI: [10.1007/978-3-642-29090-9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29090-9)
- Altair SmartWorks. (2018). **Innovation Intelligence Open Scalable IoT Solutions to enable, connect and Manage Devices and optimize Business Performance**. Available in <https://www.carriots.com/>. Accessed in 2018-09-21.
- Amazon. (2018). **Amazon Web Services (AWS) – Serviços de Computação em Nuvem**. Available in <https://aws.amazon.com/pt/>. Accessed in 2018-09-21.
- AppCelerator. (2018). **AppCelerator – The Mobile First Platform**. Available in <https://www.appcelerator.com/>. Accessed in 2018-09-21.
- Atzori L., Iera A. and Morabito G. (2010). **The Internet of Things: A survey**. Computer Networks 54 (15): 2787–2805. DOI: [10.1016/j.comnet.2010.05.010](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010)
- Battirola, C. J., Piechnicki F., Loures E. and Santos E. (2017). **Process-Aware FMEA framework for failure analysis in maintenance**. Journal of Manufacturing Technology Management. Volume 20. Issue 6. pp 822-848. DOI: [10.1108/JMTM-11-2016-0150](https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2016-0150)
- Baumgartner A., Reddy S. V. and Bauschert T. (2015). **Mobile Core Network Virtualization: A Model for combined Virtual Core Network Function Placement and Topology Optimization**. IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft). 13-17 April 2015, London, UK. DOI: [10.1109/NETSOFT.2015.7116162](https://doi.org/10.1109/NETSOFT.2015.7116162)
- Bechtold J., Lauenstein C., Kern A. and Bernhofer L. (2014). **Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View**. Available in [https://www.capgemini.com/consulting/wp-content/uploads/sites/30/2017/07/capgemini-consulting-industrie-4.0\\_0\\_0.pdf](https://www.capgemini.com/consulting/wp-content/uploads/sites/30/2017/07/capgemini-consulting-industrie-4.0_0_0.pdf). Accessed in 2017-09-09.
- Belvedere V., Grando A. and Bielli P. (2012). **A Quantitative Investigation of the Role of Information and Communication Technologies in the Implementation of a Product-Service System**. International Journal of Production Research 51 (2): 410–426. DOI: [10.1080/00207543.2011.648278](https://doi.org/10.1080/00207543.2011.648278)
- Blanchet M., Rinn T., Thaden V. G. and Thieulloy G. (2014). **INDUSTRY 4.0 The new industrial revolution How Europe will succeed**. Available in: [http://www.iberglobal.com/files/Roland\\_Berger\\_Industry.pdf](http://www.iberglobal.com/files/Roland_Berger_Industry.pdf). Accessed in 2017-05-05.
- Borgi T., Hidri A., Neef B. and Saber M. N. (2017). **Data analytics for predictive maintenance of industrial robots**. International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies. 14-17 Jan. 2017. Hammamet, Tunisia. DOI: [10.1109/ASET.2017.7983729](https://doi.org/10.1109/ASET.2017.7983729)
- Bosch Invented for Life (2018). **Bosch IoT Suite – Toolbox in the Cloud for IoT Developers**. Available in <https://www.bosch-iot-suite.com/>. Accessed in 2018-09-21.

- Brans J. P., Vincke Ph. and Mareschall B. (1986). **How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method**. European Journal of Operational Research. Vol. 14, pp. 228–238. DOI: [10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5)
- Carlsson O., Vera A. D., Delsing J. and Ahmad B. (2016). **Plant descriptions for engineering tool interoperability**. IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics. DOI: [10.1109/INDIN.2016.7819255](https://doi.org/10.1109/INDIN.2016.7819255)
- Cestari, M. J., Loures E. and Santos E. (2018). **A Method to Diagnose Public Administration Interoperability Capability Levels Based on Multi-Criteria Decision-Making**. International Journal of Information Technology and Decision Making. Vol. 18, No 01, pp 209-245. DOI: [10.1142/S0219622017500365](https://doi.org/10.1142/S0219622017500365)
- Chang C. T., Lin H. C., Lin C-J K. and Chen W-T. (2015). **Load-balanced sensor grouping for IEEE 802.11ah networks**. GLOBECOM 2015 - IEEE Global Communications Conference. 6-10 December 2015. San Diego, CA, USA, pp. 1–6. DOI: [10.1109/GLOCOM.2015.7417476](https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2015.7417476)
- Chen D. and Daclin N. (2007). **Barriers Driven Methodology for Enterprise Interoperability**. Establishing The Foundation of Collaborative Networks. IFIP TC 5 Working Group 5.5 Eighth IFIP Working Conference on Virtual Enterprises. September 10-12, 2007, Guimarães, Portugal. DOI: [10.1007/978-0-387-73798-0\\_48](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73798-0_48)
- Chen D. and Daclin N. (2010). **Framework for Enterprise Interoperability**. Interoperability for Enterprise Software and Applications: Proceedings of the Workshops and the Doctoral Symposium of the Second IFAC/IFIP I-ESA International Conference: EI2N, WSI, IS-TSPQ 2006. DOI: [10.1002/9780470612200.ch6](https://doi.org/10.1002/9780470612200.ch6)
- Choley Y. J., Hammadi M., Penas O., Riviere A., Louati J. and Haddar M. (2012). **A new multi-criteria indicator for mechatronic system performance evaluation in preliminary design level**. In IEEE Mechatronics, 9<sup>th</sup> France-Japan & 7<sup>th</sup> Europe-Asia Congress on and Research and Education in Mechatronics (REM), 13<sup>th</sup> november, pp. 409-416. DOI: [10.1109/MECATRONICS.2012.6451041](https://doi.org/10.1109/MECATRONICS.2012.6451041)
- Cisco ParStream. (2018). **Cisco ParStream – Retirement Notification**. Available in: <https://www.cisco.com/c/en/us/obsolete/analytics-automation-software/cisco-parstream.html>. Accessed in 2018-09-21.
- Confederação Nacional da Indústria. (2016). **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. Available in: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>. Accessed in: 2017-09-09.
- Conseil National de l'industrie. (2013). **The New Face of Industry in France**. Paris: French National Industry Council. Available in [https://www.economie.gouv.fr/files/nouvelle\\_france\\_industrielle\\_english.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/nouvelle_france_industrielle_english.pdf). Accessed in 2017-09-09.
- Correio Braziliense. (2017). **Cenário desolador nas fábricas: queda na produção passa de 60%**. Available in: [https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2017/04/24/internas\\_economia,590501/queda-na-producao-passa-de-60-em-alguns-segmentos-industriais-no-pais.shtml](https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2017/04/24/internas_economia,590501/queda-na-producao-passa-de-60-em-alguns-segmentos-industriais-no-pais.shtml). Accessed in 2017-09-09.

- Dagdeviren M. (2008). **Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE**. Journal of Intelligence Manufacturing. Vol. 19, pp. 397-406. DOI: [10.1007/s10845-008-0091-7](https://doi.org/10.1007/s10845-008-0091-7)
- Dongare A., Hesling C., Bhatia K., Balanuta A., Pereira R., Iannuci B. and Rowe A. (2017). **OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking architecture**. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops). 13-17 March 2017. Kona, HI, USA. DOI: [10.1109/PERCOMW.2017.7917625](https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2017.7917625)
- Ericsson. (2014). **Telefonica and Ericsson partner to virtualize networks**. Available in <https://www.ericsson.com/en/press-releases/2014/2/telefonica-and-ericsson-partner-to-virtualize-networks>. Accessed in 2018-09-21.
- Ericsson. (2018). **Device Connection Platform**. Available in <https://www.ericsson.com/ourportfolio/iot-products/device-connection-platform>. Accessed in 2018-09-21.
- European Communities. (2004). **European Interoperability Framework for Pan-European eGovernment Services**. Available in <http://ec.europa.eu/idabc/servlets/Docd552.pdf?id=19529>. Accessed in 2017-05-05. ISBN: 92-894-8389-X.
- Eurotech. (2018). **Everyware IoT – Edge to Cloud IoT Platform**. Available in <https://www.eurotech.com/en/products/iot>. Accessed in 2018-09-21.
- EVERYTHING. (2018). **EVERYTHING IoT Smart Products Platform**. Available in <https://evrythng.com/>. Accessed in 2018-09-21.
- Exosite. (2018). **IoT Platform for building and deploying IoT Solutions**. Available in <https://exosite.com/iot-platform/>. Accessed in 2018-09-21.
- Firmin F. (2018). **The Evolved Packet Core**. Available in <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core>. Accessed in 2018-09-21.
- Frost & Sullivan. (2017). **Growing Industry Applications of LPWAN Technologies**. White Paper. Available in [https://rfdesignuk.com/uploads/9/4/6/0/94609530/murata\\_lpwan\\_study.pdf](https://rfdesignuk.com/uploads/9/4/6/0/94609530/murata_lpwan_study.pdf). Accessed in 2018-09-21.
- Ghavimi F. and Chen H. H. (2015). **M2M communications in 3GPP LTE/LTEA networks: Architectures, service requirements, challenges, and applications**. IEEE Communications Surveys & Tutorials. Vol. 17, no. 2, pp. 525–549, 2nd Quart. DOI: [10.1109/COMST.2014.2361626](https://doi.org/10.1109/COMST.2014.2361626)
- Glatin L. M., Masson L. P. and Weil B. (2017). **Generative action and preference reversal in exploratory project management**. CERN IdeaSquare Journal of Experimental Innovation. Experiments in an organizational context, 1 (2), pp.39. DOI: [10.5170/cij.2017.539](https://doi.org/10.5170/cij.2017.539)
- Gyrard A., Bonnet C. and Boudaoud K. (2014). **Enrich machine-to-machine Data with semantic web technologies for cross-domain applications**. IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 559–564. DOI: [10.1109/WF-IoT.2014.6803229](https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2014.6803229)
- Hammadi M. (2012). **Contribution à l'intégration de la modélisation et la simulation multi-physique pour la conception des systems mécatroniques**. Doctoral dissertation. École Centrale Paris. Available in <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00711469/document>. Accessed in 2017-09-10.

- Hammadi M., Choley Y. J., Said B. A. M., Kellner A., Hehenberger P. (2016). **Systems engineering analysis approach based on interoperability for Reconfigurable Manufacturing Systems**. IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE). DOI: [10.1109/SysEng.2016.7753179](https://doi.org/10.1109/SysEng.2016.7753179)
- Hawilo H., Shami A., Mirahmadi M. and Asal R. (2014). **NFV: State of the Art, Challenges and Implementation in Next Generation Mobile Networks (vEPC)**. IEEE Network. Vol. 28, No 6, pp 18-26. Nov.-Dec. 2014. DOI: [10.1109/MNET.2014.6963800](https://doi.org/10.1109/MNET.2014.6963800)
- Hejazi H., Rajab H., Cinkler T. and Lengyel L. (2018). Survey of platforms for massive IoT. IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT). 18-19 Jan. Eger, Hungary. DOI: [10.1109/FIOT.2018.8325598](https://doi.org/10.1109/FIOT.2018.8325598)
- Hermann M., Pentek T. and Otto B. (2015). **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. DOI: [10.13140/RG.2.2.29269.22248](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248)
- IBM. (2018). **Watson IoT Platform Overview**. Available in <https://www.ibm.com/cloud/watson-iot-platform>. Accessed in 2018-09-21.
- IEEE 802.11 Working Group of the LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society (2016). **IEEE Standard P802.11ah/D10**. Available in <https://ieeexplore.ieee.org/document/7574262>. Accessed in 2018-09-21.
- Industrial Internet Consortium. (2013). **Fact Sheet**. Available in: [https://www.iiconsortium.org/docs/IIC\\_FACT\\_SHEET.pdf](https://www.iiconsortium.org/docs/IIC_FACT_SHEET.pdf). Accessed in 2017-05-05.
- Industrial Internet Consortium. (2017). **Manufacturing & Smart Factory**. Available in <https://www.iiconsortium.org/vertical-markets/manufacturing.htm>. Accessed in 2017-05-05.
- INGENU Simply Genius. (2018). **RPMA Technology for the Internet of Things**. Available in [https://theinternetofthings.report/Resources/Whitepapers/4cbc5e5e-6ef8-4455-b8cd-f6e3888624cb\\_RPMA%20Technology.pdf](https://theinternetofthings.report/Resources/Whitepapers/4cbc5e5e-6ef8-4455-b8cd-f6e3888624cb_RPMA%20Technology.pdf). Accessed in 2018-09-21.
- Intel. (2018). **Intel IoT Platform, Secure, Scalable and Interoperable**. Available in <https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/internet-of-things/infographics/iot-platform-infographic.html>. Accessed in 2018-09-21.
- Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI). (2017). **Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial**. Available in: <https://iedi.org.br/>. Accessed in 2017-09-09.
- International Organization for Standardization (ISO). **ISO/IEC 19763-2010: Information Technology – Metamodel Framework for Interoperability (MFI) – Part 03: Metamodel for Ontology Registration**. Available in <https://www.iso.org/standard/52069.html>. Accessed in 2017-05-05.
- International Society of Automation (ISA). (2017). **ISA95, Enterprise-Control System Integration**. Available in <https://www.isa.org/isa95/>. Accessed in 2017-10-15.
- Kagermann H., Wahlster W. and Helbig J. (2013). **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0**. Berlin: Industrie 4.0 Working Group of Acatech. Available in: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>. Accessed in 2017-09-09.
- Khaitan K. S. and McCalley D. J. (2014). **Design Techniques and Applications of Cyberphysical Systems: A Survey**. IEEE Systems Journal 9 (2): 350–365. DOI: [10.1109/JSYST.2014.2322503](https://doi.org/10.1109/JSYST.2014.2322503)

- Kim J., Lee Y. J., Kim J. and Yun J. (2014). **M2M service platforms: Survey, issues, and enabling technologies**. IEEE Communications Surveys & Tutorials. Vol. 16, no. 1, pp. 61–76. DOI: [10.1109/SURV.2013.100713.00203](https://doi.org/10.1109/SURV.2013.100713.00203).
- Lee J., Lapira E., Bagheri B. and Kao A. H. (2013). **Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment**. Manufacturing Letters. Vol. 1, No 1, pp. 38-41. DOI: [10.1016/j.mfglet.2013.09.005](https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2013.09.005)
- Legner C. and Lebreton B. (2007). **Preface to the Focus Theme Section: “Business Interoperability” Business Interoperability Research: Present Achievements and Upcoming Challenges**. Electronic Markets 17:176-186. DOI: [10.1080/10196780701503054](https://doi.org/10.1080/10196780701503054)
- Lelylan. (2018). **Open Source Internet of Things**. Available in <http://www.lelylan.com/>. Accessed in 2018-09-21.
- Liao Y., Ramos L., Saturno M., Deschamps F., Loures E. and Szejka A. (2017). **The Role of Interoperability in The Fourth Industrial Revolution Era**. 20<sup>th</sup> IFAC World Congress. Volume 50. Issue 1. Pages 12434-12439. DOI: [10.1016/j.ifacol.2017.08.1248](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1248)
- Litmus Automation. (2018). **Secure Enablement Platform for Enterprise IIoT**. Available in <https://litmusautomation.com/>. Accessed in 2018-09-21.
- Liu R., Wu W., Zhu H. and Yang D. (2011). **M2M-oriented QoS categorization in cellular network**. 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. 23-25 Sept. 2011. Wuhan, China, pp. 1–5. DOI: [10.1109/wicom.2011.6040143](https://doi.org/10.1109/wicom.2011.6040143)
- Lora Alliance. (2018). **LoRa Alliance**. Available in <https://www.lora-alliance.org/>. Accessed in 2018-09-21.
- Lu Y., Morris Kc. and Frechette S. (2016). **Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems**. NISTIR 8107. DOI: [10.6028/NIST.IR.8107](https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8107)
- Margelis G., Piechocki R., Kaleshi D. and Thomas P. (2015). **Low throughput networks for the IoT: Lessons learned from industrial implementations**. IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT). Milan, Italy, 14-16 Dec 2015, pp. 181–186. DOI: [10.1109/WF-IoT.2015.7389049](https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2015.7389049)
- Maynard A. D. (2015). **Navigating the Fourth Industrial Revolution**. Nature Nanotechnology 10 (12): 1005–1006. DOI: [10.1038/nnano.2015.286](https://doi.org/10.1038/nnano.2015.286)
- Microsoft Azure. (2018). **Plataforma e Serviços de Computação em Nuvem do Microsoft Azure**. Available in <https://azure.microsoft.com/pt-br/>. Accessed in 2018-09-21.
- Mikhaylov K., Petaejaevaervi J. and T. Haenninen. (2016). **Analysis of capacity and scalability of the LoRa low power wide area network technology**. In Proc. 22th Eur. Wireless Conf. Oulu, Finland, 18-20 May 2016, pp. 1–6. ISBN: [978-3-8007-4221-9](https://doi.org/978-3-8007-4221-9)
- Missikoff M. and Taglino F. (2004). **An Ontology-based Platform for Semantic Interoperability**. International Handbooks on Information Systems, 617-633. DOI: [10.1007/978-3-540-24750-0\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-540-24750-0_31)
- Moen W. (2001). **Mapping the interoperability landscape for networked information retrieval**. ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries. JCDL 2001, Roanoke, Virginia, USA, June 24-28, 2001. DOI: [10.1145/379437.379447](https://doi.org/10.1145/379437.379447)

- Myers T. (2010). **Random phase multiple access communication interface system and method**. U.S. Patent 7 782 926 B2, Aug. 24. Available in <https://patents.google.com/patent/US7782926>. Accessed in 2018-09-21.
- Node-RED. (2018). **Node-RED: Flow-based Programming for the Internet of Things**. Available in <https://nodered.org/>. Accessed in 2018-09-21.
- Objenius by Bouygues Telecom. (2018). **Track'it Objenius**. Available in <https://objenius.com/trackit/>. Accessed in 2018-09-21.
- Patel D. and Myounggyu W. (2017). **Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things**. IEEE 85th Vehicular Technology Conference: VTC2017-Spring. 4-7 June 2017. Sydney, NSW, Australia. DOI: [10.1109/VTCSpring.2017.8108501](https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2017.8108501)
- Posada J., Toro C., Barandiaran I., Oyarzun D., Stricker D., Amicis de R., Pinto B. E., Eisert P., Dollner P. and Vallarino I. (2015). **Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet.**, IEEE Computer Graphics and Applications. 35(2), 26-40. DOI: [10.1109/MCG.2015.45](https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45)
- PTC. (2018). **Thingworx oferece Inovação Industrial**. Available in <https://www.ptc.com/pt/products/iot>. Accessed in 2018-09-21.
- Reif R., Jackson A. S. and Liveris A. (2014). **Report to The President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing**. Washington, DC: The President's Council of Advisors on Science and Technology. Available in [https://www.manufacturingusa.com/sites/prod/files/amp20\\_report\\_final.pdf](https://www.manufacturingusa.com/sites/prod/files/amp20_report_final.pdf). Accessed in 2017-09-09.
- Rumana Y., Petajajarvi J., Mikhaylov K. and Pouttu A. (2017). **On the integration of LoRaWAN with the 5G test network**. IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC). Montreal, QC, Canada. DOI: [10.1109/PIMRC.2017.8292557](https://doi.org/10.1109/PIMRC.2017.8292557)
- Saaty, L. T. (1990). **Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decision in a complex world**. University of Pittsburgh. ISBN: 0962031704. Available in [https://books.google.com.br/books/about/Decision\\_Making\\_for\\_Leaders.html?id=GSDZAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Decision_Making_for_Leaders.html?id=GSDZAAAAMAAJ&redir_esc=y). Accessed in 2017-10-10.
- Saaty, L. T. (1990). **How to make a decision: The analytic hierarchy process**. European Journal of Operational Research. Volume 48. Issue 1. pp 9-26. DOI: [10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Sadeghi, A. R., Wachsmann C. and Waidner M. (2015). **Security and Privacy Challenges in Industrial Internet of Things**. 52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC). DOI: [10.1145/2744769.2747942](https://doi.org/10.1145/2744769.2747942)
- Samsung ARTIK. (2018). **The ARTIK IoT platform enables open data exchange for the Internet of Things**. Available in <https://artik.cloud/>. Accessed in 2018-09-21.
- Sanin C., Shafiq I. S., Waris M. M., Toro C. and Szczerbicki E. (2016). **Manufacturing collective intelligence by the means of Decisional DNA and virtual engineering objects, process and factory**. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems 32(2):1-15. DOI: [10.3233/JIFS-169152](https://doi.org/10.3233/JIFS-169152)
- SAP. (2018). **SAP Cloud Platform for the Internet of Things**. Available in <https://www.sap.com/products/iot-platform-cloud.html>. Accessed in 2018-09-21.

- Schmidt, A. M. A. (1995). **Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH**. Master Dissertation Final Examination. UFSC, Florianópolis. Available in <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/157951>. Accessed in 2017-10-10.
- Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., Hompel M. and Wahlster W. (2017). **Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies**. Acatech - National Academy of Science and Engineering. Available in [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech\\_STUDIE\\_Maturity\\_Index\\_eng\\_WEB.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf). Accessed in 2017-09-09.
- Schweichhart K, Platform Industrie 4.0 and ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie). (2016). **Referential Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)**. Available in: [https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference\\_architectural\\_model\\_industrie\\_4.0\\_rami\\_4.0.pdf](https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference_architectural_model_industrie_4.0_rami_4.0.pdf). Accessed in 2017-09-08.
- Sierra Wireless. (2018). **AirVantage Cloud Platform for IoT Solutions**. Available in <https://www.sierrawireless.com/products-and-solutions/sims-connectivity-and-cloud-services/iot-cloud-platform/>. Accessed in 2018-09-21.
- Sigfox. (2018). **Sigfox – The Global Communications Service Provider for the Internet of Things (IoT)**. Available in <https://www.sigfox.com/>. Accessed in 2018-09-21.
- Soltanmohammadi E., Ghavami K. and Naraghi N. M. (2016). **A survey of traffic issues in machine-to-machine communications over LTE**. IEEE Internet of Things Journal. Vol. 3, no. 6, pp. 865–884. DOI: [10.1109/JIOT.2016.2533541](https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2533541)
- Stojanovic L. (2017). **Open standards for Industry 4.0 Tools and offer around AutomationML and OPC UA**. Available in [https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/46944/AutomationML\\_en.pdf?command=downloadContent&filename=AutomationML\\_en.pdf](https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/46944/AutomationML_en.pdf?command=downloadContent&filename=AutomationML_en.pdf). Accessed in 2017-10-09.
- Temboo. (2018). **KOSMOS – Build Industrial Internet of Things Systems**. Available in <https://temboo.com/>. Accessed in 2018-09-21.
- Triantaphyllou E. (2000). **Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study**. Kluwer Academic Publishers. DOI: [10.1007/978-1-4757-3157-6](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6)
- Verein Deutsch-Brasilianischer Ingenieure (VDI). (2017). **Transformação Digital**. Available in: <http://www.vdibrasil.com/transformacao-digital/>. Accessed in 2017-09-09.
- Vermesan O., Friess P., Medagliani P., Leguay J., Duda A., Rousseau F., Duquennoy S., Raza S., Gonizzi P., Cirani S., Veltri L., Montón M., Prieto D. M., Dohler M., Villajosana I. and Dupont O. (2014). **Internet of Things: From Research and Innovation to Market Deployment**. River Publishers Series in Communication. Available in [http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC\\_Cluster\\_Book\\_2014\\_Ch.3\\_SRIA\\_WEB.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf). Accessed in 2017-09-10.
- Xively. (2018). **IoT Platform for Connect Devices**. Available in <https://xively.com/>. Accessed in 2018-09-21.
- Xiong X., Zheng K., Xu R., Xiang W. and Chatzimisios P. (2015). **Low power wide area machine-to-machine networks: Key techniques and prototype**. IEEE Communications Magazine. Vol. 53, no. 9, pp. 64–71. DOI: [10.1109/MCOM.2015.7263374](https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7263374)

Wang H. and Abraham F. O. (2017). **A Survey of Enabling Technologies of Low Power and Long Range Machine-to-Machine Communications**. IEEE Communications Surveys & Tutorials. Vol. 19, no. 4, pp. 2621–2639, 4th Quart. DOI: [10.1109/COMST.2017.2721379](https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2721379)

Weisman R. (2011). **An Overview of TOGAF Version 9.1**. Available in [https://www.opengroup.org/public/member/proceedings/q312/togaf\\_intro\\_weisman.pdf](https://www.opengroup.org/public/member/proceedings/q312/togaf_intro_weisman.pdf). Accessed in 2017-09-10.

## ANEXOS

Paper				Assets					
Nº	Título	Autor	Ano	Original	Tradução	Palavras-Chave	Tecnologias	Relações Diretas	Não Considerado
1	A Survey of Enabling Technologies of Low Power and Long Range Machine-to-Machine Communications	Hai Wang and Abraham O. Fapojuwo	2017	<p>(1) Besides <b>energy efficiency</b>, <b>scalability</b> is also important for low power and long range M2M communication solutions. For the LPWA solutions, <b>spread spectrum</b> can be used to demodulate multiple signals simultaneously;</p> <p>(2) Deployment consideration of the surveyed M2M communication solutions: <b>Range, Frequency, Data Rate, Latency, TCP/IP Support, Private Network Support and Suitable Applications</b>;</p> <p>(3) Solutions defined: <b>LECIM based LPWA prototype, RPMA from INGENU, Sigfox, LoRaWAN, IEEE 802.11ah, LTE-M and NB-IoT</b>.</p>	<p>(1) Além da <b>eficiência energética</b>, a <b>escalabilidade</b> também é importante para as soluções M2M de baixa potência e de longo alcance. Para o caso das tecnologias LPWA, o <b>espectro de espalhamento</b> pode ser usado para demodular vários sinais ao mesmo tempo;</p> <p>(2) Considerando o survey desenvolvido pelo autor do artigo: <b>Faixa, Frequência, Taxa de Dados, Latência, Suporte TCP/IP, Suporte a Rede Privada e Aplicações Adequadas</b>;</p> <p>(3) Soluções definidas: <b>LECIM baseado em LPWA, RPMA da INGENU, Sigfox, LoRaWAN, IEEE 802.11ah, LTE-M e NB-IoT</b>.</p>	<p>(1) Eficiência Energética;</p> <p>(2) Escalabilidade;</p> <p>(3) Espectro de Espalhamento;</p> <p>(4) Faixa;</p> <p>(5) Frequência;</p> <p>(6) Taxa de Dados;</p> <p>(7) Latência;</p> <p>(8) Suporte TCP/IP;</p> <p>(9) Suporte a Rede Privada;</p> <p>(10) Aplicações Adequadas;</p> <p>(11) LECIM baseado em LPWA;</p> <p>(12) RPMA da INGENU;</p> <p>(13) Sigfox;</p> <p>(14) LoRaWAN;</p> <p>(15) IEEE 802.11ah;</p> <p>(16) LTE-M;</p> <p>(17) NB-IoT.</p>	<p>(1) Baixo Alcance: (1.1) WiFi; (1.2) ZigBee; (1.3) NFC; (1.4) BLE.</p> <p>(2) Longo Alcance: (2.1) LECIM; (2.2) RPMA; (2.3) Sigfox; (2.4) LoRaWAN; (2.5) IEEE 802.11ah; (2.6) LTE-M; (2.7) NB-IoT.</p> <p>(3) Componentes: (3.1) Microcontrolador CC2650; (3.2) Rádio 2.4 GHz IEEE 802.15.04; (3.3) Rádio Bluetooth Low Energy (BLE); (3.4) Semtech SX1276 LoRa.</p>	<p>(1) Eficiência Energética;</p> <p>(1.1) Maximizar a vida útil dos dispositivos.</p> <p>(2) Escalabilidade: (2.1) Capacidade total da rede; (2.2) Suporte TCP/IP; (2.3) Suporte a Rede Privada; (2.4) Aplicações Adequadas.</p> <p>(3) Latência: (3.1) Baixa latência.</p> <p>(4) Faixa: (4.1) Seleção de canal;</p> <p>(5) Frequência: (5.1) Chaveamento de frequência;</p> <p>(6) Processamento e Comunicação: (6.1) Taxa de Dados; (6.2) Atribuições de emparelhamento entre dispositivos e gateway;</p>	<p>(1) Classificação Dispositivos LoRaWAN: (1.1) Classe A; (1.2) Classe B; (1.3) Classe C; (1.4) Camada física com base nas modulações LoRa; (2) Espectro de Espalhamento; (3) Segurança: (3.1) Chaves de criptografia para payloads de aplicações e tráfego de rede.</p>
2	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	Rumana Yasmin, Juha Petäjäjärvi, Konstantin Mikhaylov and Ari Pouttu	2017	<p>(1) The LoRaWAN specifies the network protocol to be utilized on <b>top of a physical layer based on LoRa or frequency shift keying based modulations</b>;</p> <p>(2) LoRaWAN enables automatic data rate (ADR) feature to <b>maximize both lifetime of the end devices and overall network capacity</b>.</p>	<p>(1) LoRaWAN especifica o protocolo de rede que deve ser utilizado sob uma <b>camada física com base nas modulações LoRa ou chaveamento de frequência</b>;</p> <p>(2) LoRaWAN permite o uso do recurso de taxa de dados automatizada (ADR) para <b>maximizar a vida útil dos dispositivos e a capacidade total da rede</b>;</p>	<p>(1) Camada física com base nas modulações LoRa;</p> <p>(2) Chaveamento de frequência;</p> <p>(3) Maximizar a vida útil dos dispositivos;</p> <p>(4) Capacidade total da rede.</p>			
3	Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	Dhaval Patel and Myounggyu Won	2017	<p>(1) Currently, there exist a number of commercial platforms for LPWAN, e.g., <b>SigFox [X], LoRa [X], IngenuTM [X]</b>, etc.</p>	<p>(1) Atualmente, existem várias plataformas comerciais para o LPWAN, por exemplo, <b>SigFox, LoRa, Ingenu</b>, etc.</p>	<p>(1) Sigfox;</p> <p>(2) LoRa;</p> <p>(3) Ingenu.</p>			
4	Survey of Platforms for Massive IoT	Hamdan Hejazi Husam Rajab Tibor Cinkler László Lengyel	2018	<p>(1) Sensors and devices connected to the Internet by an adequate communication technology, such as <b>Wi-Fi, ZigBee, NFC, BLE, LTE, LoRa, SigFox or NB-IoT</b>.</p>	<p>(1) Sensores/dispositivos conectados a internet por uma tecnologia LPWAN adequada, como <b>WiFi, ZigBee, NFC, BLE, LTE, LoRa, SigFox e NB-IoT</b>.</p>	<p>(1) WiFi;</p> <p>(2) ZigBee;</p> <p>(3) NFC;</p> <p>(4) BLE;</p> <p>(5) LTE;</p> <p>(6) LoRa;</p> <p>(7) Sigfox;</p> <p>(8) NB-IoT.</p>			

5	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture Adwait Dongare Craig Hesling Khushboo Bhatia Artur Balanuta Ricardo Lopes Pereira Bob Iannucci Anthony Rowe	2017	<p>(1) LoRaWAN supports: (1.1) <b>establishing encryption keys for application payloads and network traffic</b>, (1.2) <b>device to gateway pairing assignments</b> and (1.3) <b>channel, power and data rate selection</b>;</p> <p>(2) LoRaWAN has three main device classes: bi-directional <b>end-devices</b> with downlink followed by uplink (Class A), bi-directional end devices with transmission <b>slots</b> scheduled for downlink (Class B) and always-on bi-directional <b>devices</b> (Class C). Class A is primarily intended for <b>sensors</b>, Class B is intended for <b>sensors with actuators</b> while Class C is intended for powered devices that require <b>low-latency</b>;</p> <p>(3) <b>LoRaBug hardware</b> is housed in a small plastic enclosure that accommodates two AA batteries. The LoRaBug itself provides <b>processing and communication</b> while expansion modules provide the sensing and actuation functionality;</p> <p>(4) The <b>LoRaBug</b> is powered by a <b>Texas Instruments CC2650 microcontroller (MCU)</b> with integrated <b>2.4 GHz IEEE 802.15.04</b> and <b>Bluetooth Low-Energy (BLE) radios</b>. It communicates to LoRa networks through a <b>Semtech SX1276 LoRa radio</b>.</p>	<p>(1) O LoRaWAN fornece: (1.1) <b>chaves de criptografia para payloads de aplicações e tráfego de rede</b>; (1.2) <b>atribuições de emparelhamento entre dispositivo e gateway</b>; e (1.3) <b>seleção de canal, energia e taxa de dados</b>;</p> <p>(2) O LoRaWAN possui três classes principais de dispositivos: dispositivos bidirecionais com downlink seguido pelo uplink (<b>Classe A</b>), dispositivos bidirecionais com slots de transmissão programados para downlink (<b>Classe B</b>) e dispositivos bidirecionais sempre ativos (<b>Classe C</b>). A Classe A detém os sensores, a Classe B destina-se aos sensores e atuadores e Classe C possui dispositivos que exigem <b>baixa latência</b>;</p> <p>(3) O <b>hardware LoRaBug</b> está inserido em um pequeno compartimento de plástico que acomoda duas baterias AA. O LoRaBug fornece <b>processamento e comunicação</b> enquanto os módulos de expansão propiciam a funcionalidade de detecção e atuação;</p> <p>(4) O <b>LoRaBug</b> contém um <b>microcontrolador CC2650</b>, da <b>Texas Instruments (MCU)</b>, com rádios integrados de <b>2,4 GHz IEEE 802.15.04</b> e <b>Bluetooth Low Energy (BLE)</b>. Ele se comunica com as redes LoRa através de um rádio <b>Semtech SX1276 LoRa</b>.</p>	<p>(1) Chaves de criptografia para payloads de aplicações e tráfego de rede;</p> <p>(2) Atribuições de emparelhamento entre dispositivos e gateway;</p> <p>(3) Seleção de canal;</p> <p>(4) Energia;</p> <p>(5) Taxa de dados;</p> <p>(6) Baixa Latência;</p> <p>(7) Classe A;</p> <p>(8) Classe B;</p> <p>(9) Classe C;</p> <p>(10) Baixa latência;</p> <p>(11) Hardware LoRaBug;</p> <p>(12) Processamento e Comunicação;</p> <p>(13) Microcontrolador CC2650;</p> <p>(14) Texas Instruments (MCU);</p> <p>(15) Rádio 2.4 GHz IEEE 802.15.04;</p> <p>(16) Rádio Bluetooth Low Energy (BLE);</p> <p>(17) Semtech SX1276 LoRa.</p>
---	--	------	---	---	--

Tabela 111 – Dados coletados da literatura para Assets.

FONTE: O AUTOR.

Paper				Integration				
Nº	Título	Autor	Ano	Original	Tradução	Palavras-Chave	Relações Diretas	Não Considerado
1	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	Rumana Yasmin, Juha Petäjäjärvi, Konstantin Mikhaylov and Ari Pouttu	2017	<p>(1) Where wireless sensor nodes transmit measured data to gateways that route data via <b>standard IP connections</b> to a server;</p> <p>(2) A single gateway can serve tens of thousands of low power wireless end devices;</p> <p>(3) End device can join the network by using either <b>over-the-air activation (OTAA)</b> or <b>activation-by-personalization</b>. A gateway routes the messages between end devices and the network server;</p> <p>(4) ALOHA type of medium access control protocol is mandatory for all the end devices. It ensures <b>energy efficient operation</b>, but as a tradeoff, the <b>packets transmitted</b> by the end devices are <b>prone to collisions</b>;</p> <p>(5) Comparison between different integration methods: <b>3GPP access, Non-3Gpp access, eNodeB integration and virtual in core</b>;</p> <p>(6) Features: <b>Communication Interface and Traffic Effects, Security Mechanisms, Resource management Instance, Hardware &amp; Software Requirements, Support in Today's Commercial Products, Implementation Complexity, Deployment Complexity, Scalability and Quality of Service (QoS)</b>;</p> <p>(7) The <b>communication</b> between the end devices and the gateway occurs on the industrial, scientific, and medical <b>868 MHz band</b>;</p>	<p>(1) Onde os sensores sem fio transmitem dados coletados para os gateways que repassam a informação ao servidor via <b>conexão IP</b>;</p> <p>(2) Um único gateway pode atender a dezenas de milhares de dispositivos de baixa potência;</p> <p>(3) O dispositivo final pode ingressar na rede usando uma <b>ativação over-the-air (OTAA)</b> ou uma <b>ativação por personalização</b>. Um gateway roteia as mensagens entre os dispositivos finais e o servidor de rede;</p> <p>(4) O protocolo de controle de acesso médio (ALOHA) é obrigatório para todos os dispositivos finais. Ele garante uma <b>operação eficiente</b>, como uma compensação, onde os <b>pacotes transmitidos</b> estão <b>propensos a colisões</b>;</p> <p>(5) Comparação entre diferentes métodos de integração: <b>acesso 3GPP, acesso não 3Gpp, integração eNodeB e virtual in core</b>;</p> <p>(6) Critérios: <b>Interface de Comunicação e Efeitos de Tráfego, Mecanismos de Segurança, Instância de Gerenciamento de Recursos, Requisitos de Hardware e Software, Suporte em Produtos Comerciais Atuais, Complexidade de Implementação, Complexidade de Desenvolvimento, Escalabilidade e Qualidade de Serviço (QoS)</b>;</p> <p>(7) A <b>comunicação</b> entre os dispositivos finais e o gateway ocorre na <b>faixa</b> industrial, científica e médica de <b>868 MHz</b>;</p>	<p>(1) Controle de acesso médio (ALOHA); (1.1) Operação eficiente; (1.2) Pacotes transmitidos propensos a colisões. (2) Comparação entre diferentes métodos de integração: (2.1) Acesso 3GPP; (2.2) Acesso não 3Gpp; (2.3) Integração eNodeB; (2.4) Virtual in core. (3) Critérios: (3.1) Interface de Comunicação e Efeitos de Tráfego; (3.2) Mecanismos de Segurança; (3.3) Instância de Gerenciamento de Recursos; (3.4) Requisitos de Hardware e Software; (3.5) Suporte em Produtos Comerciais Atuais; (3.6) Complexidade de Implementação; (3.7) Complexidade de Desenvolvimento (3.8) Escalabilidade; (3.9) Qualidade de Serviço (QoS). (4) Comunicação: (4.1) Faixa: (4.1.1) 868 MHz. (5) Tipo de conexão: (5.1) Conexão IP; (6) Configurações de rede: (6.1) Ativação over-the-air (OTAA); (6.2) Ativação por personalização.</p>	<p>(1) Controle de acesso médio (ALOHA); (1.1) Operação eficiente; (1.2) Pacotes transmitidos propensos a colisões. (2) Comparação entre diferentes métodos de integração: (2.1) Acesso 3GPP; (2.2) Acesso não 3Gpp; (2.3) Integração eNodeB; (2.4) Virtual in core. (3) Critérios: (3.1) Interface de Comunicação e Efeitos de Tráfego; (3.2) Mecanismos de Segurança; (3.3) Instância de Gerenciamento de Recursos; (3.4) Requisitos de Hardware e Software; (3.5) Suporte em Produtos Comerciais Atuais; (3.6) Complexidade de Implementação; (3.7) Complexidade de Desenvolvimento (3.8) Escalabilidade; (3.9) Qualidade de Serviço (QoS). (4) Comunicação: (4.1) Faixa: (4.1.1) 868 MHz. (5) Topologia estrela: (5.1) Alta escalabilidade; (5.2) Controlabilidade. (6) Interface REST: (6.1) Fácil gerenciamento de dispositivos; (6.2) Acesso a dados históricos eficientemente.</p>	<p>(1) Tipo de conexão: (1.1) Conexão IP; (1.2) WiFi; (1.3) Ethernet. (2) Componentes: (2.1) Raspberry Pi3; (2.2) Rádio definido por software RTL; (2.3) Rádio GPS. (3) Configurações de rede: (3.1) Ativação over-the-air (OTAA); (3.2) Ativação por personalização.</p>
2	Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	Dhaval Patel and Myounggyu Won	2017	<p>(1) Most LPWANs are formed based on the <b>star topology</b> where end nodes are directly connected to a gateway that relays data to a LPWAN server. This significantly simplifies the network design allowing for <b>high scalability</b> and greater <b>controllability</b>.</p>	<p>(1) A maioria dos LPWANs é formada com base na <b>topologia estrela</b>, na qual os dispositivos estão diretamente conectados a um gateway que retransmite dados para um servidor LPWAN. Dessa forma, a estrutura da rede torna-se mais simples, permitindo que ela tenha <b>alta escalabilidade</b> e maior <b>controlabilidade</b>.</p>	<p>(1) Topologia estrela: (1.1) Alta escalabilidade; (1.2) Controlabilidade.</p>	<p>(1) Topologia estrela: (1.1) Alta escalabilidade; (1.2) Controlabilidade.</p>	<p>(1) Topologia estrela: (1.1) Alta escalabilidade; (1.2) Controlabilidade.</p>

3	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture Adwait Dongare Craig Hesling Khushboo Bhatia Artur Balanuta Ricardo Lopes Pereira Bob Iannucci Anthony Rowe	<p>2017</p> <p>(1) <b>The REST interface</b> provides <b>easy management of devices</b> and their properties (location, metadata, functionality, etc) as well as access to device time-series data;</p> <p>(2) Applications and services can thus access <b>historical data</b> on demand for a given time-interval in an <b>efficient manner</b>. This is accessible through our common <b>REST API</b>;</p> <p>(3) The gateway is powered by a <b>Raspberry Pi 3</b> connected to a custom LoRaWAN concentrator (over SPI for improved throughput) and connects to the internet over <b>WiFi or Ethernet</b>;</p> <p>(4) We also include an <b>RTL software-defined radio</b> for future exploration of whitespaces and listen-before-talk functionality, and a <b>GPS radio</b> for localization and time-synchronization.</p>	<p>(1) <b>A interface REST</b> fornece <b>fácil gerenciamento de dispositivos</b> e de suas propriedades (localização, metadados, funcionalidades, etc) bem como acesso aos dados temporais dos dispositivos;</p> <p>(2) As aplicações e serviços podem acessar os <b>dados históricos</b> sob demanda para um determinado intervalo de tempo de <b>forma eficiente</b>. O API REST permite que isso seja acessível;</p> <p>(3) O gateway é alimentado por um <b>Raspberry Pi3</b> que está conectado a um concentrador LoRaWAN personalizado (através de SPI de melhor rendimento) com conexão via <b>WiFi ou Ethernet</b>;</p> <p>(4) Incluem-se um <b>rádio definido por software RTL</b> para exploração de espaços em branco e funcionalidades de escuta antes de falar e um <b>rádio GPS</b> para localização e sincronização de tempo.</p>	<p>(1) Interface REST: (1.1) Fácil gerenciamento de dispositivos; (1.2) Acesso a dados históricos eficientemente. (2) Raspberry Pi3; (3) WiFi; (4) Ethernet; (5) Rádio definido por software RTL; (6) Rádio GPS.</p>
---	--	---	---	--

---

Tabela 112 – Dados coletados da literatura para *Integration*.

FONTE: O AUTOR.

Paper				Communication				
Nº	Título	Autor	Ano	Original	Tradução	Palavras-Chave	Relações Diretas	Não Considerado
1	A Survey of Enabling Technologies of Low Power and Long Range Machine-to-Machine Communications	Hai Wang and Abraham O. Fapojuwo	2017	(1) Uplink (UL) traffic dominated; (2) Bursty traffic due to the event-driven wireless sensor networks (WSN); (3) Varying traffic loads; (4) Varying quality of service (QoS) characteristics (e.g., traffic of wireless devices having different delay and throughput requirements).	(1) Tráfego de Uplink (UL) dominado; (2) Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN); (3) Cargas de tráficos variáveis; (4) Variação das características de qualidade de serviço (QoS).	(1) Tráfego de Uplink (UL) dominado; (2) Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN); (3) Cargas de tráficos variáveis; (4) Variação das características de qualidade de serviço (QoS).	(1) Protocolos: (1.1) CoAP; (1.1.1) Consumo de energia; (1.1.2) Tempo de resposta. (1.2) MQTT: (1.2.1) Elementos: (1.2.1.1) Assinante; (1.2.1.2) Editor; (1.2.1.3) Corretor (Broker); (1.2.1.4) Assinatura Leve. (1.2.2) Segurança: (1.2.2.1) SSL; (1.2.2.1) TLS. (1.3) Lightweight M2M; (1.4) DTLS; (1.5) Interfaces: (1.5.1) Bootstrapping; (1.5.2) Armazenamento; (1.5.3) Gerenciamento de Serviços; (1.5.4) Relatório de Serviços. (1.6) HTTP; (1.7) TCP/IP.	(1) Conexões IP; (2) Redes: (2.1) 5GTN: (2.1.1) Nó evoluído B (eNodeB); (2.1.2) Conexão S1 com várias redes centrais; (2.2) Rede OpenChirp; (3) LoRaWAN: (3.1) Topologia de rede tipo estrela; (3.2) Suporta comunicações bidirecionais seguras. (4) Plataforma IoT: (4.1) ThingWorx;
2	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	Rumana Yasmin, Juha Petäjajarvi, Konstantin Mikhaylov and Ari Pouttu	2017	(1) LoRaWAN is laid on <b>star-of-stars topology</b> and it supports <b>secure bidirectional communications</b> ;  (2) The <b>IP connections</b> are used at the backend to transmit messages from gateway to the network server;  (3) The current <b>5GTN</b> is deployed in such a way that the <b>evolved node B (eNodeB)</b> as part of the radio access network (RAN) can establish an <b>S1 connection</b> with <b>multiple core networks</b> . This S1 connection is based on S1 application protocol (S1AP), which enables S1-mme interface for signaling. It also supports non-access stratum (NAS) signaling transport functions;  (4) The communication between the LoRaWAN gateway and the <b>ThingWorx</b> via 5GTN is handled with <b>message queuing telemetry transport (MQTT) protocol</b> . MQTT is a <b>lightweight publish</b> subscribe based messaging protocol suitable for IoT.	(1) O LoRaWAN é baseado na <b>topologia de rede tipo estrela e suporta comunicações bidirecionais seguras</b> ;  (2) As <b>conexões IP</b> são utilizadas para transmitir mensagens do gateway ao servidor;  (3) O atual <b>5GTN</b> está implementado de forma que o nó <b>evoluído B (eNodeB)</b> , como parte da rede de acesso de rádio (RAN) onde se estabelece uma <b>conexão S1</b> com <b>várias redes centrais</b> . Esta conexão S1 é baseada no protocolo de aplicação S1 (S1AP) que habilita a interface S1-mme. Ele também suporta funções de transporte de não sinalização de acesso ao estrato (NAS);  (4) A comunicação entre o gateway LoRaWAN e o <b>ThingWorx</b> via 5GTN é tratada com o <b>protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)</b> . O MQTT é um protocolo de mensagens baseado em <b>assinatura leve</b> , adequado para IoT.	(1) Topologia de rede tipo estrela; (2) Suporta comunicações bidirecionais seguras; (3) Conexões IP; (4) 5GTN; (5) Nó evoluído B (eNodeB); (6) Conexão S1 com várias redes centrais; (7) ThingWorx; (8) Protocolo MQTT: (8.1) Assinatura Leve.	(2) Características de uma comunicação M2M: (2.1) Tráfego de Uplink (UL) dominado; (2.2) Tráfego intermitente devido as redes de sensores sem fio serem acionadas por evento (WSN); (2.3) Cargas de tráfego variáveis; (2.4) Variação das características de qualidade de serviço (QoS).	

3	Survey of Platforms for Massive IoT	Hamdan Hejazi Husam Rajab Tibor Cinkler László Lengyel	2018	<p>(1) The Communication component contains IoT communication protocols such as <b>CoAP</b> and <b>MQTT</b> to connect various IoT objects to send data to management system;</p> <p>(2) <b>Lightweight machine-to-machine M2M protocol</b> from the Open Mobile Alliance is an open industry protocol; it assists in implementing service and application management remotely for IoT connected devices. Lightweight M2M is a communication protocol for communication operations between M2M devices such as client software and M2M management and service enablement platform which is contained in server software;</p> <p>(3) There are many features for Lightweight M2M such as it is based on efficient and secure IETF standards, for instance, <b>Constrained Application Protocol (CoAP) and Datagram Transport Layer Security (DTLS)</b>, interfaces include <b>bootstrapping, registration, management and services, and services reporting</b>.</p> <p>(4) Constrained Application Protocol (CoAP), is a new communication protocol that is designed explicitly for IoT hardware that is inspired by the <b>Hypertext Transfer Protocol (HTTP)</b> and uses one-to-one communication. A performance comparison between HTTP and CoAP is inspected for <b>energy consumption and response time in</b>.</p> <p>(5) <b>Message Queue Telemetry Transport (MQTT)</b> is a messaging protocol implemented over <b>TCP/IP</b> a published subscribe lightweight communication protocol. It uses message broker server in the middle of communication between devices. It consists of three elements, <b>subscriber, publisher and broker</b>. Regarding security, MQTT supports <b>Secure Sockets Layer (SSL) and Transport Layer Security (TLS)</b>.</p>	<p>(1) A camada Comunicação contém protocolos de comunicação mais usuais para IoT, <b>como CoAP e MQTT</b>, com o objetivo de enviar os dados de diversos componentes na plataforma situada na Nuvem;</p> <p>(2) <b>O protocolo Lightweight M2M</b>, da Open Mobile Alliance, pode ser considerado como open source e auxilia na implementação de gerenciamento de serviços e aplicações para dispositivos IoT. Ele é um protocolo de comunicação para operações entre equipamentos M2M, como software cliente e plataforma de gerenciamento de serviços, dentro do servidor;</p> <p>(3) Há muitos recursos para Lightweight M2M, com base nos padrões IETF como os protocolos <b>CoAP e DTLS</b>. As interfaces incluem <b>bootstrapping, armazenamento, gerenciamento e relatórios de serviços</b>.</p> <p>(4) O CoAP é um novo protocolo de comunicação desenvolvido especificamente para hardwares IoT com inspiração no protocolo já conhecido <b>HTTP</b>. Destacam-se como pontos fortes o <b>consumo de energia e o tempo de resposta</b>.</p> <p>(5) O <b>MQTT</b> é um protocolo de mensagens implementado sobre o <b>TCP/IP</b>. Ele utiliza um servidor de corretor de mensagens no meio da comunicação entre dispositivos. É composto por três elementos: <b>assinante, editor e corretor</b>. Em relação a segurança, o MQTT suporta <b>SSL e TLS</b>.</p>	<p>(1) Protocolos: (1.1) CoAP: (1.1.1) Consumo de energia; (1.1.2) Tempo de resposta. (1.2) MQTT: (1.2.1) Elementos: (1.2.1.1) Assinante; (1.2.1.2) Editor; (1.2.1.3) Corretor (Broker). (1.2.2) Segurança: (1.2.2.1) SSL; (1.2.2.1) TLS. (1.3) Lightweight M2M; (1.4) DTLS; (1.5) Interfaces: (1.5.1) Bootstrapping; (1.5.2) Armazenamento; (1.5.3) Gerenciamento de Serviços; (1.5.4) Relatório de Serviços. (1.6) HTTP; (1.7) TCP/IP.</p>
4	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	Adwait Dongare Craig Hesling Khushboo Bhatia Artur Balanuta Ricardo Lopes Pereira Bob Iannucci Anthony Rowe	2017	<p>(1) The gateway communicates with the <b>OpenChirp network</b> over a secure <b>MQTT connection</b>.</p>	<p>(1) O gateway se comunica com a <b>rede OpenChirp</b> por meio de uma <b>conexão MQTT</b> segura.</p>	<p>(1) Rede OpenChirp; (2) MQTT.</p>

Tabela 113 – Dados coletados da literatura para *Communication*.

FONTE: O AUTOR.

Paper				Information				
Nº	Título	Autor	Ano	Original	Tradução	Palavras-Chave	Relações Diretas	Não Considerado
1	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	Rumana Yasmin, Juha Petäjajarvi, Konstantin Mikhaylov and Ari Pouttu	2017	<p>(1) For <b>authentication and authorization</b>, the information about LoRaWAN needs to be defined in the <b>home subscriber service (HSS) data base</b>, which is connected to <b>mobility management entity (MME)</b>;</p> <p>(2) The received LoRaWAN data packets are <b>handled and displayed</b> on <b>Node-RED</b>, which is a programming tool for combining hardware devices, APIs and online services. The Node-RED <b>enables the connections</b> between the gateway and the ThingWorx;</p>	<p>(1) Para <b>autenticação e autorização</b>, as informações sobre o LoRaWAN precisam ser definidas no banco de dados do <b>serviço de assinante doméstico (HSS)</b>, que está conectado na entidade de <b>gerenciamento de mobilidade (MME)</b>;</p> <p>(2) Os pacotes de dados LoRaWAN recebidos são <b>manipulados e exibidos</b> no <b>Node-RED</b>, que é uma ferramenta de programação para combinar dispositivos de hardware, APIs e serviços online. O Node-RED <b>permite as conexões</b> entre o gateway e o ThingWorx;</p>	<p>(1) Autenticação e autorização: (1.1) Serviço de assinante doméstico (HSS); (1.2) Gerenciamento de mobilidade (MME). (2) Manipulação e exibição: (2.1) Node-RED: (2.1.1) Permite conexão entre gateway e plataforma IoT.</p>	<p>(1) Autenticação e autorização: (1.1) Serviço de assinante doméstico (HSS); (1.2) Gerenciamento de mobilidade (MME). (2) Manipulação e exibição: (2.1) Node-RED: (2.1.1) Permite conexão entre gateway e plataforma IoT.</p>	
2	Survey of Platforms for Massive IoT	Hamdan Hejazi, Husam Rajab, Tibor Cinkler, László Lengyel	2018	<p>(1) It supports suitable communication technologies, transport protocols such as <b>WebSockets</b> to communicate with devices, as well as between platforms. Corresponding payload format, <b>such as JSON or XML</b> is used for messages;</p> <p>(2) IoT data management and application enablement, for orchestrating data. Most of IoT solutions impact various sensors that can produce a high volume of data over time, <b>such as condition, location, and status</b>. Data streams <b>composed and stored</b> from the collected information.</p>	<p>(1) A <b>camada de computação/nuvem</b> suporta tecnologias de comunicação adequadas para transporte de informações, como <b>WebSockets</b> para dispositivos, entre outras similares. O formato padrão para envio de dados mais utilizado é <b>JSON ou XML</b>;</p> <p>(2) Os dispositivos IoT são utilizados para aplicações que se queira gerenciar um volume considerável de informações. A maioria das soluções necessita de diversos tipos de sensores que detenham informações como, <b>tempo, status, localização</b>, etc. Os fluxos de dados são <b>compostos e armazenados</b> a partir das informações assim coletadas.</p>	<p>(1) Camada de computação/Nuvem: (1.1) WebSockets: (1.1.1) JSON; (1.1.2) XML. (2) Informação de sensores: (2.1) Tempo; (2.2) Status; (2.3) Localização. (3) Fluxo de dados compostos e armazenados. (1) Tipos de dados; (2) Formato flexível;</p>	<p>(3) Camada de computação/Nuvem: (3.1) WebSockets: (3.1.1) JSON; (3.1.2) XML. (4) Informação de sensores: (4.1) Tempo; (4.2) Status; (4.3) Localização. (5) Fluxo de dados compostos e armazenados. (6) Tipos de dados; (7) Formato: (7.1) Flexível.</p>	
3	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	Adwait Dongare, Craig Hesling, Khushboo Bhatia, Artur Balanuta, Ricardo Lopes, Pereira, Bob Iannucci, Anthony Rowe	2017	<p>(1) Data serialization gives us a <b>flexible format</b> to transfer <b>various data types</b> inside a single message structure. There are two observations with serialization: (1.1) The size for preregistered serialized messages is much smaller than if the same data were to be sent over key-value pairs and (1.2) existing serialization tools allow for faster processing and also enable limited static checking on serialized data.</p>	<p>(1) A serialização de dados fornece um <b>formato flexível</b> para transferir <b>vários tipos de dados</b> dentro de uma única mensagem. Há duas observações: (1.1) O tamanho das mensagens pré-registradas é muito menor do que se os mesmos dados fossem enviados sobre pares de valores-chave e (1.2) ferramentas de serialização existentes permitem o processamento mais rápido e também a verificação estática limitada.</p>	<p>(1) Tipos de dados; (2) Formato flexível;</p>	<p>(6) Tipos de dados; (7) Formato: (7.1) Flexível.</p>	

Tabela 114 – Dados coletados da literatura para *Information*.

FONTE: O AUTOR.

Paper				Funcional				
Nº	Título	Autor	Ano	Original	Tradução	Palavras-Chave	Relações Diretas	Não Considerado
1	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	Rumana Yasmin, Juha Petäjäjärvi, Konstantin Mikhaylov and Ari Pouttu	2017	<p>(1) To integrate LoRaWAN with the 5GTN as a part of the core network, LoRa <b>network server</b> could be installed in the cloud along with the <b>core network components</b>;</p> <p>(2) The <b>OpenStack cloud platform</b> supports dashboard to generate virtual instance on top of Linux operating system installed in physical machine. LoRaWAN functionalities could be defined into either a <b>single virtual instance or multiple virtual instances</b>;</p> <p>(3) There are plenty of alternatives of such platforms available now, including, e.g., <b>Microsoft's Azure, Nokia's IMPACT, PTC's ThingWorx and Amazon's AWS</b>.</p>	<p>(1) Para integrar o LoRaWAN com o 5GTN como parte da rede principal, o <b>servidor de rede LoRa</b> pode ser instalado na nuvem junto com os <b>principais componentes da rede</b>;</p> <p>(2) A <b>plataforma de nuvem OpenStack</b> suporta o painel para gerar uma instância virtual em cima do sistema operacional Linux instalado na máquina física. As funcionalidades do LoRaWAN podem ser definidas em uma <b>única instância virtual ou em várias instâncias virtuais</b>.</p> <p>(3) Existem muitas alternativas de plataformas disponíveis, incluindo, por exemplo, <b>o Azure da Microsoft, o IMPACT da Nokia, o ThingWorx da PTC e o AWS da Amazon</b>.</p>	<p>(1) Servidor de rede LoRa;</p> <p>(2) Principais componentes da rede;</p> <p>(3) Plataforma de nuvem OpenStack;</p> <p>(4) Funcionalidades LoRaWAN:</p> <p>(4.1) Única instância virtual;</p> <p>(4.2) Várias instâncias virtuais.</p> <p>(5) Plataformas IoT:</p> <p>(5.1) Azure da Microsoft;</p> <p>(5.2) Impact da Nokia;</p> <p>(5.3) Thingworx da PTC;</p> <p>(5.4) AWS da Amazon.</p>	<p>(1) Funcionalidades LoRaWAN:</p> <p>(1.1) Única instância virtual;</p> <p>(1.2) Várias instâncias virtuais.</p> <p>(2) Plataformas IoT:</p> <p>(2.1) Azure da Microsoft;</p> <p>(2.2) Impact da Nokia;</p> <p>(2.3) Thingworx da PTC;</p> <p>(2.4) AWS da Amazon.</p> <p>(3) Gerenciamento de serviços:</p> <p>(3.1) Controle de rede IoT:</p> <p>(3.1.1) Adicionar;</p> <p>(3.1.2) Movimentar;</p> <p>(3.1.3) Remover;</p> <p>(3.1.4) Alterar.</p> <p>(3.2) Eficiência no processo:</p> <p>(3.2.1) Métricas de desempenho:</p> <p>(3.2.1.1) Velocidade do veículo (ambiente outdoor);</p> <p>(3.2.1.2) Tamanho do veículo (ambiente outdoor);</p> <p>(3.2.1.3) Distância até o gateway.</p>	<p>(1) Servidor de rede LoRa;</p> <p>(2) Principais componentes da rede;</p> <p>(3) Plataforma de nuvem OpenStack;</p>
2	Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	Dhaval Patel and Myounggyu Won	2017	<p>(1) The two-performance metrics are measured by varying the following parameters: <b>vehicle speed (for outdoor experiments), packet size, and distance to the gateway</b>.</p>	<p>(1) As duas métricas de desempenho são medidas variando os seguintes parâmetros: <b>velocidade do veículo</b> (para ambiente outdoor), <b>tamanho do pacote e distância até o gateway</b>.</p>	<p>(1) Métricas de desempenho:</p> <p>(1.1) Velocidade do veículo (ambiente outdoor);</p> <p>(1.2) Tamanho do pacote;</p> <p>(1.3) Distância até o gateway.</p>	<p>(3.2) Eficiência no processo:</p> <p>(3.2.1) Métricas de desempenho:</p> <p>(3.2.1.1) Velocidade do veículo (ambiente outdoor);</p> <p>(3.2.1.2) Tamanho do pacote;</p> <p>(3.2.1.3) Distância até o gateway.</p>	
3	Survey of Platforms for Massive IoT	Hamdan Hejazi Husam Rajab Tibor Cinkler László Lengyel	2018	<p>(1) IoT platforms should provide administration for accessing the user-controlled software tools to retain managing the endpoints and the connections via the networks as an aspect of IoT solution. Also, an appropriate on-demand service management implementation allows the control of the IoT network, <b>providing adding, moving, removing, or changing IoT device reporting functions</b>. IoT devices and platforms could be managed efficiently for enhancing the IoT deployments.</p>	<p>(1) As plataformas IoT devem fornecer acesso administrativo para que seja possível controlar e gerenciar os terminais e as conexões por meio de dispositivos presentes na rede. Através do gerenciamento destes serviços, permite-se o controle da rede IoT podendo <b>adicionar, movimentar, remover ou alterar</b> determinadas funções conforme necessário. Assim, todo o processo de gestão torna-se mais <b>eficiente</b>.</p>	<p>(1) Gerenciamento de serviços:</p> <p>(1.1) Controle de rede IoT:</p> <p>(1.1.1) Adicionar;</p> <p>(1.1.2) Movimentar;</p> <p>(1.1.3) Remover;</p> <p>(1.1.4) Alterar.</p> <p>(1.2) Eficiência no processo.</p>		

Tabela 115 – Dados coletados da literatura para *Funcional*.

FONTE: O AUTOR.

Paper				Business					
Nº	Título	Autor	Ano	Original	Tradução	Palavras-Chave	Tecnologias	Relações Diretas	Não Considerado
1	On the Integration of LoRaWAN with the 5G Test Network	Rumana Yasmin, Juha Petäjäljärvi, Konstantin Mikhaylov and Ari Pouttu	2017	(1) For the implementation, four components are being utilized: <b>the LoRaWAN compatible end devices, a LoRaWAN gateway, the 5GTN infrastructure, and an IoT cloud platform for storing, analyzing and visualizing the received data.</b>	(1) Para a implementação, quatro componentes estão sendo utilizados: <b>os dispositivos finais compatíveis com LoRaWAN, um gateway LoRaWAN, a infraestrutura 5GTN e uma plataforma de nuvem IoT para armazenar, analisar e visualizar os dados recebidos.</b>	(1) Estrutura de implementação IoT: (1.1) Os dispositivos finais compatíveis com LoRaWAN; (1.2) Um(s) gateway(s) LoRaWAN; (1.3) Infraestrutura 5GTN; (1.4) Plataforma IoT na Nuvem: (1.4.1) Armazenamento; (1.4.2) Análise; (1.4.3) Visualização.	(1) Tecnologias LPWAN: (1.1) LoRaWAN: (1.1.1) Natureza aberta; (1.1.2) Flexibilidade de implementação. (1.2) Sigfox: (1.2.1) Semelhante as operadoras de celular; (1.2.2) Camada de rede proprietária. (1.3) LTE Cat-M1: (1.3.1) Propriedade de operadoras de celular; (1.3.2) Necessita de regulamentação; (1.3.3) Sujeito a contratos de serviço. (1.4) NB-IoT: (1.4.1) Gerenciamento por operadoras de celular; (1.4.2) Custos e regulamentações determinadas pelo acesso a rede.	(1) Estrutura de implementação IoT: (1.1) Os dispositivos finais compatíveis com LoRaWAN; (1.2) Um(s) gateway(s) LoRaWAN; (1.3) Infraestrutura 5GTN; (1.4) Plataforma IoT na Nuvem: (1.4.1) Armazenamento; (1.4.2) Análise; (1.4.3) Visualização. (2) Tecnologias LPWAN: (2.1) Eficiência em economia de energia: (2.1.1) Duração de bateria (aprox. 10 anos); (2.2) Custos: (2.2.1) Chip de rádio: (2.2.1.1) \$2 a operação anual. (2.2.2) Dispositivo: (2.2.2.1) \$1 (unidade) por ano. (2.3) Serviços: (2.3.1) Ausência de assinatura de serviço. (3) Segurança de plataformas IoT; (3.1) Autenticação; (3.2) Autorização; (3.3) Integridade de conteúdo; (3.4) Segurança dos dados; (3.5) Interoperabilidade entre componentes; (3.6) Avaliação de contexto.	
2	Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things	Dhaval Patel and Myounggyu Won	2017	(1) More specifically, it provides long-range communication of up to 10-15 km in rural areas and 2-5 km in urban areas, and it is <b>highly energy-efficient and inexpensive—the industry is targeting 10+ year battery life with a radio chipset cost of less than \$2 and the operating cost of \$1 per device per year.</b>  (2) LPWAN is more cost-effective due to its <b>low hardware price and no need for subscription for service.</b>	(1) As tecnologias LPWAN fornecem comunicação de longo alcance de 10 a 15km em áreas rurais e de 2 a 5km em áreas urbanas. É considerado <b>altamente eficiente em termos de economia e energia.</b> Há uma expectativa de que uma <b>bateria possa durar em torno de 10 anos</b> com um custo de um chip de rádio de aproximadamente <b>\$2 e um custo operacional estimado de \$1 por dispositivo em um ano.</b>  (2) LPWAN é mais rentável devido ao seu <b>baixo custo com hardware e a não necessidade de se ter uma assinatura de serviço estabelecida.</b>	(1) Tecnologias LPWAN: (1.1) Eficiência em economia e energia: (1.1.1) Duração de bateria (aprox. 10 anos); (1.2) Custos: (1.2.1) Chip de rádio: (1.2.1.1) \$2 a operação anual. (1.2.2) Dispositivo: (1.2.2.1) \$1 (unidade) por ano. (1.3) Serviços: (1.3.1) Ausência de assinatura de serviço.			

3	Survey of Platforms for Massive IoT	Hamdan Hejazi Husam Rajab Tibor Cinkler László Lengyel	2018	<p>(1) Security in IoT platforms means providing a secure connection to devices; transfer trusted data to handle in the cloud and keep continued valuable value through analytics. Additional functions required include providing functions such as <b>authentication, authorization, content integrity, and data security</b>. Moreover, reviews briefly the challenges and problems of IoT coordination, for example, <b>IoT interoperability, context awareness and discovery</b>.</p>	<p>(1) A segurança em plataformas IoT é necessária para fornecer uma conexão confiável aos dispositivos transferindo dados manipulados até a nuvem e manter o valor contínuo por meio de análises. Funções adicionais também são fundamentais como <b>autenticação, autorização, integridade de conteúdo e segurança dos dados</b>. Além disso, há outros pontos que requerem uma maior atenção como a <b>interoperabilidade de componentes IoT, reconhecimento e descoberta de contexto</b>.</p>	<p>(1) Segurança de plataformas IoT; (1.1) Autenticação; (1.2) Autorização; (1.3) Integridade de conteúdo; (1.4) Segurança dos dados; (1.5) Interoperabilidade entre componentes; (1.6) Avaliação de contexto.</p>
4	OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture	Adwait Dongare Craig Hesling Khushboo Bhatia Artur Balanuta Ricardo Lopes Pereira Bob Iannucci Anthony Rowe	2017	<p>(1) Part of our motivation for using LoRaWAN lies in its <b>open nature and flexibility of implementation</b>;</p> <p>(2) Sigfox deploy and operate gateways, functioning <b>similar to cellular operators</b>. Unlike LoRaWAN, the network layer is <b>proprietary</b>;</p> <p>(3) LTE Cat-M1 network function in the licensed LTE spectrum <b>owned by cellular operators</b>, which will be <b>regulated and subject to service contracts</b>;</p> <p>(4) NB-IoT would be managed by cellular operators with <b>expected costs and regulations on access</b> to this network.</p>	<p>(1) Parte de nossa motivação em usar LoRaWAN reside na sua <b>natureza aberta e flexibilidade de implementação</b>;</p> <p>(2) Sigfox implementa e opera os gateways funcionando de forma <b>semelhante as operadoras de celular</b>. Ao contrário do LoRaWAN, a camada de rede é <b>proprietary</b>;</p> <p>(3) A rede LTE Cat-M1 opera num espectro LTE licenciado de <b>propriedade de operadoras de celular</b> que será <b>regulamentado e estará sujeito a contratos de serviço</b>;</p> <p>(4) NB-IoT seria gerenciado por operadoras de celular com <b>custos e regulamentações esperadas ao acesso</b> a rede.</p>	<p>(1) Tecnologias LPWAN: (1.1) LoRaWAN: (1.1.1) Natureza aberta; (1.1.2) Flexibilidade de implementação. (1.2) Sigfox: (1.2.1) Semelhante as operadoras de celular; (1.2.2) Camada de rede proprietária. (1.3) LTE Cat-M1: (1.3.1) Propriedade de operadoras de celular; (1.3.2) Necessita de regulamentação; (1.3.3) Sujeito a contratos de serviço. (1.4) NB-IoT: (1.4.1) Gerenciamento por operadoras de celular; (1.4.2) Custos e regulamentações determinadas pelo acesso à rede.</p>

Tabela 116 – Dados coletados da literatura para *Business*.

FONTE: O AUTOR.

