

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ADAPTAÇÃO DE UM MÉTODO PARA ADOÇÃO DE REQUISITOS DO
PROGRAMA *INDUSTRIE 4.0*: APLICAÇÃO EM UMA MONTADORA DE
VEÍCULOS

RODRIGO AGUIAR DE JESUS
ORIENTADOR: PROF. DR.-ING. KLAUS SCHÜTZER

Santa Bárbara d'Oeste

2017

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ADAPTAÇÃO DE UM MÉTODO PARA ADOÇÃO DE REQUISITOS DO
PROGRAMA *INDUSTRIE 4.0*: APLICAÇÃO EM UMA MONTADORA DE
VEÍCULOS**

RODRIGO AGUIAR DE JESUS

ORIENTADOR: PROF. DR.-ING. KLAUS SCHÜTZER

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Santa Bárbara d'Oeste

2017

Á toda minha família, especialmente a minha esposa Camilla, meus pais Paulo e Lucineia e meus Irmãos Bruno e Michele.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela sabedoria e sustentação na realização deste trabalho.

A minha esposa Camilla pela contribuição, apoio e compreensão durante todo o período do trabalho.

Ao Prof. Dr.-Ing. Klaus Schützer pela orientação, paciência, e todo tempo dispensado a me ouvir e ajudar.

A CAPES e a UNIMEP pela concessão da bolsa de estudos.

A Volkswagen do Brasil, sob a pessoa dos responsáveis Celso Placeres, Alexander Korb, Fabrizio Mônaco e Sandra Zimmermann que me apoiaram e me concederam essa oportunidade.

Aos meus companheiros de Fabrica Digital Luciana Kimura, Idelto Santos, Allan Didiano, Saulo Pinto, que me apoiaram e me suportaram durante a realização deste trabalho.

A equipe do SCPM por todo apoio, suporte e ajuda dispensados nesse trabalho.

Aos professores do PPGEF por todo conhecimento passado e paciência em nos orientar.

Ao meu pai Paulo Roberto e minha mãe Lucineia, pelo apoio e incentivo em todo o tempo, bem como também aos meus irmãos.

Se procurar a sabedoria como se procura a prata e buscá-la como quem busca um tesouro escondido, então você entenderá o que é temer ao Senhor e achará o conhecimento de Deus. (Provérbios 2: 4,5) Bíblia NVI

Jesus, Rodrigo Aguiar de. Adaptação de um método para adoção de requisitos do programa *Industrie 4.0*: Aplicação em uma montadora de veículo. 2018. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

Resumo

O cenário econômico mundial tem trazido empresas dos mais variados segmentos a elevados níveis de competitividade. Nesse cenário, com objetivo de tornar-se líder tecnológico mundial, o governo alemão criou o programa *Industrie 4.0*. Esse programa tem por objetivo, estabelecer uma comunicação entre as diversas áreas que compõe um processo produtivo utilizando sistemas inteligentes. A nova abordagem tomou proporções mundiais e ficou conhecida como a 4ª Revolução Industrial, em virtude do impacto na forma de produção e também social. Como uma das mais importantes indústrias da economia brasileira, a automotiva é uma das indústrias que compartilham dos desafios desta inovação tecnológica de implementação da Indústria 4.0. Com objetivo de auxiliar a enfrentar esse desafio este trabalho identifica os requisitos e conceitos da Indústria 4.0 adaptando um método para adoção dos requisitos da Indústria 4.0. Este método é aplicado em uma empresa do setor automotivo. O método proposto neste trabalho foi verificado em uma montadora de veículos. Concluiu-se que o método tem aplicação válida, na empresa estudada, trazendo benefícios como, ganhos de produtividade e qualidade, na adoção dos requisitos do programa *Industrie 4.0*. Evidenciou-se também que para colher resultados mais expressivos é necessário um envolvimento maior da alta gestão das empresas assim como aprimoramento de algumas fases do método.

Palavras-chave: *Industrie 4.0*. Indústria automotiva. 4ª Revolução Industrial. Sistemas Físico-Cibernéticos.

Jesus, Rodrigo Aguiar de. Adaptation of a method for adopting requirements by Industrie 4.0 program: Application in a vehicle manufacturing plant. 2018. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

Abstract

The current global economic scenario has been brought companies of many varieties of segments to elevated levels of competitiveness. In this scenario, with objective of become global technological leader, the German government created the Industrie 4.0 program. This program has the objective to establish communication among many areas that compose one productive process through intelligent systems. The new approach had taken global proportions and became known as 4 Industrial Revolution, in virtue of impact at the means of production and social. As the one of the most important sectors of Brazilian economy, the automotive industry is one of sectors that share of challenges of current productions as well the implementation of Industrie 4.0.

With aim to help in this migration this work was developed to identify the requirements and the concepts inheritance to subject, as well adapt a migration method to adoption of requirements of Industrie 4.0 to a company of automotive sector. The adaptable method through this work was verified in an automaker.

Is it conclude that the method has a valid application in automotive sector company, bringing benefits as quality and productivity gains in the program requirements adoption Industrie 4.0. It also emphasized that to reap results more expressive is necessary a senior management greater engagement of companies, as well as improvement of some method stages.

Keywords: Industrie 4.0, automotive industry, 4° industrial revolution. smart systems.

Sumário

Lista de Figuras	VIII
Lista de Tabelas	X
Lista de Abreviaturas	XI
1 Introdução.....	1
1.1 Estrutura do trabalho.....	4
2 Revisão Bibliográfica.....	6
2.1 Industrie 4.0	6
2.1.1 Sistemas Físicos Cibernéticos (CPS)	10
2.1.2 Internet das coisas (IoT)	13
2.1.3 Internet de serviços (IoS).....	19
2.2 Fábricas Inteligentes	21
2.3 Produtos Inteligentes	25
2.4 Simulação Virtual.....	26
2.5 Implementação da Industrie 4.0	28
2.6 Benefícios esperados do programa Industrie 4.0	38
3 Objetivos e método de trabalho	41
3.1 Objetivo geral.....	42
3.2 Objetivos específicos	42
3.3 Método de trabalho	43
4 Método para migração de uma indústria automotiva para os requisitos do programa industrie 4.0.....	46
4.1 FASE I – CONHECIMENTO	50
4.1.1 Etapa I – Descobrimento	51

4.1.2	Etapa II – Nivelamento	51
4.1.3	Etapa III – Análise	52
4.2	FASE II – INTERNALIZAÇÃO	53
4.2.1	Etapa I – Definição de objetivos	53
4.2.2	Etapa II – Revisão da Estratégia	58
4.2.3	Etapa III – Identificação	58
4.3	FASE III – AÇÃO	59
4.3.1	Etapa I – Implantação.....	59
4.4	FASE IV - RETROALIMENTAÇÃO	61
4.4.1	Etapa I – Análise dos resultados	61
4.4.2	Etapa II – Lições Aprendidas.....	62
5	Verificação	63
5.1	Aplicação Fase I	63
5.2	Aplicação da Fase II.....	64
5.3	Aplicação da Fase III.....	66
5.4	Aplicação da Fase IV	72
6	Conclusão.....	74
6.1	Análise dos resultados e limitações	74
6.2	Considerações finais.....	75
6.3	Trabalhos futuros	76
7	Referências.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da Indústria [21].....	7
Figura 2 : Estrutura de um CPS [31]	11
<i>Figura 3: Roadmap para gestão de produção de sistemas físicos cibernéticos [34]</i>	<i>13</i>
Figura 4 : paradigma da "Internet das Coisas" como resultado da convergência de diferentes visões [35].	14
Figura 5: Roadmap Internet das coisas [36].....	18
Figura 6: Pilares da Internet do Futuro [45].....	19
Figura 7: Estrutura de uma Fábrica Inteligente [53]	24
Figura 8: Visão geral da arquitetura para produtos inteligentes Fonte: Adaptado de [56].	26
<i>Figura 9 - Integração na Fábrica Digital. Fonte: Adaptado de [60]</i>	<i>27</i>
Figura 10: Abordagem de implantação para Indústria 4.0 [68]	31
Figura 11: Abordagem do guia VDMA para indústria 4.0 (Fonte: adaptado de [70])	33
Figura 12: Caixa de ferramentas, Produto (Fonte: adaptado de [57]).....	36
<i>Figura 13: Caixa de ferramentas, guia da Indústria 4.0 (Fonte: adaptado de [70]).....</i>	<i>37</i>
Figura 14: Benefícios quantitativos esperados da aplicação da indústria 4.0 (Fonte: adaptado de [72]).....	40
Figura 15: Empresas esperam benefícios extensivos qualitativos da Indústria 4.0 e maior satisfação do cliente (Fonte: adaptado de [72]).....	40
Figura 16 - Metodologia de pesquisa	43
Figura 17 - Estrutura Conceitual do Método.....	50
Figura 18: Resumo Etapa I Fonte: Elaborado pelo autor	53
Figura 19 - Matriz de Requisitos Produto Carro - Fonte: Adaptado de [70]	56
Figura 20 - Matriz de requisitos processo (Fonte: adaptado de [70]).....	57
Figura 21: Resumo da Fase II - Fonte: Elaborado pelo autor.....	59

Figura 22 - Resumo da Fase III - Fonte: Elaborado pelo autor.....	61
Figura 23 - Resumo da Fase IV – Fonte: Elaborado pelo autor	62
Figura 24 - Aplicação da Fase II - Disseminação de conhecimento	64
Figura 25 - Aplicação da Fase II – Agenda de eventos e palestras 2016.....	65
Figura 26 - Aplicação da Fase II – Resultados dos eventos e palestras 2016.....	65
Figura 27 - Identificação do estado atual na caixa de ferramentas produção.....	68
Figura 28 - Estado atual na caixa de ferramentas produtos	69
Figura 29 - Definição de objetivos - Produção	70
Figura 30 - Definição de objetivos – Produto	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Comparação entre Industrie 4.0 e industrial Internet Consortium. Fonte: MAPI Foundation [24].....	9
Tabela 2 - Capacidades dos Produtos Inteligentes.....	25
Tabela 3: Parâmetros de pesquisa para bibliometria [75]	44
Tabela 4 - Classificação dos Métodos Fonte: Elaborado pelo autor.....	47
Tabela 5 - Estado atual da empresa	66
Tabela 6 - Estado atual da empresa - Produto.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS

CPPS – *Cyber Physical Production System*

CPS – *Cyber Physical System*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

IoT – *Internet of Things*

IoS – *Internet of Services*

MEMS - *Microelectromechanical systems*

PLM – *Product Life Management*

RFID - *Radio-Frequency IDentification*

RTLS- *Real-time locating systems*

SIG - *Sistema de Informação Gerencial*

WSN - *Wireless sensor network*

1 INTRODUÇÃO

Empresas de diversos segmentos se veem pressionadas pelo atual cenário econômico, tornando o ambiente cada vez mais competitivo, operando em escala global este ambiente impõe exigências cada vez mais altas a toda cadeia de produção, com demanda de produtos customizados, alto nível de qualidade, menores custos e sustentabilidade. Essas demandas necessitam da inserção constante de novas tecnologias, e adequações nos diversos níveis produtivos das empresas. [1]

Um dos setores em que essas exigências são contínuas, é o da manufatura de veículos automotores, reboques e carrocerias, o qual tem uma participação significativa em toda indústria de transformação no Brasil, representando 7,6% da indústria de transformação de acordo com a Pesquisa Industrial Anual – Empresa do IBGE (PIA/IBGE) de 2014¹.

Responsável por 1,6 milhões de empregos diretos e indiretos segundo dados da ANFAVEA de Junho de 2016, 22% do PIB industrial e por 4,1% do PIB total. A indústria automotiva instalada no país tem despertado discussões sobre sua competitividade frente a concorrência internacional, principalmente no que se relaciona com a melhoria de sua posição, em escala, preço e tecnologias envolvidas [2].

A indústria automotiva é classificada como de média - alta tecnologia por organismos internacionais como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e tem efeitos diretos importantes em diversas

¹ O total de atividades da PIA/IBGE inclui todos os setores da indústria de transformação e também as indústrias extrativas

cadeias produtivas internas e globais, sendo alvo de políticas públicas em diversos países [3].

Pioneira na formação de redes de produção, suprimento e distribuição, a indústria automotiva envolve dezenas de setores econômicos diferentes em sua cadeia. Entre eles podemos citar: mineração, vidro, produtos químicos, combustíveis, vendas, incluindo os laminados planos e não planos de aço além de artefatos de borracha para veículos, máquinas e aparelhos [4].

Devido a uma complexidade tanto produtiva quanto do próprio produto, o setor automotivo tem se colocado à frente das demais indústrias no que tange a adotar padrões de flexibilização da produção e de trabalho. Esta lógica tem sido adotada com uma velocidade cada vez maior para outros setores como o de serviços por exemplo. [5].

Em seu estudo Tu, Vanderembse e Ragu-Nathan [6] demonstram que a indústria automotiva também segue um caminho de customização em massa. A adoção deste conceito gera uma vantagem competitiva, pela associação positiva entre economia na produção pela flexibilização e satisfação dos consumidores pela flexibilização do produto.

Apesar das estratégias citadas acima estarem sendo implementadas, a indústria automotiva ainda tem um desafio constante: encontrar a melhor forma de satisfazer às necessidades individuais dos consumidores, sem comprometer os custos de produção e comercialização, qualidade e o prazo de entrega.[7] Para atender essa demanda, adotam-se tecnologias inovadoras e preço competitivo para se manter no mercado global [8].

Nesse contexto surge o que vem sendo chamada de 4ª Revolução industrial. Este conceito tem sua origem na Alemanha em 2012 no chamado

“Programa *Industrie 4.0*” (Indústria 4.0) que vem chamando atenção de empresas em todo o mundo [9].

Este programa tem como foco o que vem sendo chamado *Smart Factory* ou Fábricas Inteligentes. Trata-se da integração entre produto, processo e demais áreas na empresa de manufatura, onde todas as áreas “conversam” entre si. “Numa fábrica inteligente, trabalhadores, máquinas, produtos e matérias-primas se comunicam de forma tão natural quanto pessoas numa rede social” [10].

A abordagem da *Industrie 4.0* consiste em utilizar as capacidades dos sistemas físicos cibernéticos, de modo a fornecer inteligência e comunicação para sistemas técnicos, quando são chamados de sistemas inteligentes. Estes sistemas são utilizados para monitoramento de condições estruturais, também realizar remotamente diagnósticos de falhas e controle dos equipamentos. De acordo com Anderl [11] esses sistemas são o “núcleo” para produtos inteligentes, fábricas inteligentes, redes inteligentes, logística inteligente e até mesmo cidades inteligentes. A intenção dos sistemas inteligentes é o estabelecimento de um ambiente de processo para aumentar e melhorar a flexibilidade, adaptabilidade e eficiência dos processos de negócio [11].

Assim como os demais setores industriais o setor automotivo também enfrenta desafios para atender a modularização dos produtos, produção eficiente, enxuta e de baixo custo, tendo em vista a grande competitividade [12].

De fato, a intensificação da concorrência na indústria automobilística tem sido marcada pela utilização mais intensa da tecnologia (especialmente da microeletrônica) [13], pela redução do tempo do ciclo de desenvolvimento de produto [9,10], pela ampliação da diversidade de modelos (e dos seus atributos) e pela segmentação dos mercados [11,12].

Essa corrida tecnológica, que não se limita às montadoras e aos fabricantes de autopeças, poderá ter implicações bastante significativas para o automóvel e para a indústria automobilística de uma maneira geral [16]. Nesse cenário, é imperativo que as empresas tenham uma elevada capacidade de adaptação, tendo em vista a sua sobrevivência, ressaltando a necessidade de enquadrar-se nas novas tecnologias e desafios propostos pelo programa *Industrie 4.0* [16].

De acordo com Chiavenato [18], sobre o processo de mudança organizacional este começa com o aparecimento de forças exógenas ou endógenas. As exógenas são provenientes do ambiente e as endógenas do comportamento organizacional. Uma das principais forças endógenas que uma organização pode enfrentar é a implantação de uma nova tecnologia. A dimensão desta mudança causada pela implantação conforme os conceitos e tecnologias do programa *Industrie 4.0*, implica em redesenho, redefinição e revisão daquilo estabelecido, em prol de uma melhoria futura [10].

Como motivação central, esse trabalho busca adaptar uma metodologia para minimizar os impactos da reestruturação organizacional durante a migração de uma montadora de veículos, para se enquadrar nos conceitos e tecnologias do programa *Industrie 4.0* [16]. O trabalho também prevê uma aplicação prática desse método por meio de um estudo de caso. O resultado esperado é oferecer um guia prático para as empresas facilitarem essa transição.

1.1 Estrutura do trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos conforme descrito a seguir.

Capítulo 1 – É feita uma introdução da conjuntura do cenário atual econômico e especificamente do setor automotivo, demonstrando a realidade

produtiva que evoca a necessidade de novas tecnologias para atender as novas demandas de mercado e a relevância deste trabalho durante essa migração.

Capítulo 2 – É realizada uma revisão da literatura sobre o tema em discussão: *Indústria 4.0* e as tecnologias envolvidas nesse contexto além dos métodos existentes para implantação.

Capítulo 3 – Neste capítulo são apresentados os objetivos e métodos utilizados para formulação da metodologia proposta.

Capítulo 4 – Apresentação do método desenvolvido com sua respectiva validação e aplicação, implementando o método em um ambiente industrial real.

Capítulo 5 – É realizada uma análise dos resultados obtidos na utilização do método apresentado.

Capítulo 6 – Este capítulo apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 7 – Bibliografia, apresenta a lista de referências utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados conceitos que fundamentam este trabalho.

2.1 *Indústria 4.0*

O termo "*Indústria 4.0*" veio a público em 2012, por uma iniciativa chamada "*Indústria 4.0*" – originada na Alemanha, pela associação de representantes da área de negócios, do governo e das universidades. Essa associação promoveu esta abordagem para o reforço da competitividade da indústria manufatureira alemã. O governo federal alemão apoiou a ideia, anunciando que o programa *Indústria 4.0* seria uma parte integrante da sua "Estratégia de alta tecnologia para a Alemanha de 2020" uma iniciativa visando a liderança em inovação tecnológica [10]. Foi então formado o "Grupo de Trabalho *Indústria 4.0*", que desenvolveu as primeiras recomendações para a implementação, que foram publicadas em abril de 2013 [10].

O termo que traduzido ao português é Indústria 4.0 se refere ao que pode ser chamado de 4º Revolução Industrial. Isso porque está no contexto das três Revoluções Industriais anteriores, os quais são caracterizados pela introdução de tecnologias revolucionárias (ver Figura 1). A 1º Revolução Industrial é caracterizada pela adoção de instalações mecânicas movidas a água e a vapor. A 2º Revolução, com início no século XX é marcada pela adoção da produção industrial em massa, a utilização de energia elétrica e a divisão de trabalho. A 3º inclui a utilização de eletrônica e TI para automação da manufatura. Como as demais revoluções são marcadas por tecnologias revolucionárias, o advento de tecnologias avançadas baseada na internet introduzidas na fábrica utilizando sistemas físicos cibernéticos é então considerada como a 4º Revolução. Neste cenário, os sistemas de produção do futuro, serão caracterizados por componentes utilizados como portadores de

informação, a partir de sistemas físico cibernéticos (CPS) em rede e capazes de comunicar-se em todo o mundo [14,15].



Figura 1: Evolução da Indústria [21]

De acordo com Hermann, Pentek, & Otto, [22] “*Indústria 4.0* é um termo coletivo para as tecnologias que integram elementos da cadeia de valor da organização. Dentro de uma fábrica inteligente de estrutura modular da *Indústria 4.0*, CPSs (Sistemas físicos cibernéticos) monitoram processos físicos, criando uma cópia virtual do mundo físico de modo a tomar decisões descentralizadas. Por meio da IoT (Internet das Coisas), CPSs comunicam-se uns com os outros e cooperam com os seres humanos em tempo real. Via a IoS (Internet de Serviços), tanto os serviços internos como os que estão fora da organização são oferecidos e utilizados pelos participantes da cadeia de valor. ”

Segundo Kagermann [10] “No futuro, as empresas deverão estabelecer redes globais que integram suas máquinas, sistemas de armazenagem e instalações de produção na forma de Sistemas Físicos Cibernéticos (CPS).

No ambiente de produção, estes sistemas físicos cibernéticos compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção. Estes sistemas serão capazes de trocar informações de forma autônoma, desencadeando ações com a capacidade de controlar uns aos outros de forma independente. Isso facilita a implementação de processos industriais na manufatura, na engenharia, na utilização de materiais e da cadeia de suprimentos e na gestão do ciclo de vida dos produtos [10].

Produtos inteligentes são identificáveis de forma individual. Podem ser localizados a qualquer momento e conhecer seu próprio histórico, situação atual e rotas alternativas para alcançar seu estado de destino. Os sistemas embarcados de produção, estão verticalmente em rede com os processos de negócios dentro das fábricas, e horizontalmente conectados a redes de valor dispersas. Esses sistemas podem ser gerenciados em tempo real a partir do momento em que um pedido é feito até à logística de saída[11].

Na literatura pesquisada foram identificados alguns componentes básicos que caracterizam a *Indústria 4.0*; entre eles: Sistemas físicos cibernéticos, Internet das coisas, Internet de serviços e fábricas inteligentes [23]. Esses mesmos componentes também fazem parte de outras iniciativas globais como o *Industrial internet consortium*, a tabela 1 apresenta algumas características de ambas iniciativas mostrando um comparativo entre os dois termos, demonstrando qual o foco de cada um e também suas diferenças e similaridades.

Como é possível verificar na tabela 1 o foco inicial do programa “*indústria 4.0*” era somente favorecer a Alemanha, enquanto que o *Industrial consortium* já possui um objetivo mais amplo que abrange multinacionais no mundo inteiro. Outra diferença relevante, são as plataformas de apoio, enquanto o programa “*indústria*

4.0” possui apoio do governo para as indústria, para o *Industrial consortium* o apoio parte das próprias empresas através de associações e consórcios.

Destaca-se também os setores focados, visto que o *Industrial consortium* está focado em quase todos os setores de base, o foco da *Industrie 4.0* é somente nas Industrias. No que se refere a tecnologias, ambos possuem basicamente os mesmos focos.

	Industrie 4.0	The Industrial Internet Consortium
Autores	Governo Alemão	Grandes Multinacionais
Stakeholders	Governo, Academia, Negócios	Governo, Academia, Negócios
Taxonomia das revoluções	4ª Revolução	4ª Revolução
Plataformas de apoio	Políticas governamentais para indústria	Consórcio sem fins lucrativos, associação aberta
Setores Focados	Industria	Manufatura, energia, transporte, saúde, serviços públicos, cidades, agricultura
Tecnologias com foco em:	Coordenação da cadeia de suprimentos, sistemas embarcados, automação, robôs	Comunicação de dispositivos, fluxos de dados, controles e integração de dispositivos, análise preditiva, automação industrial
Foco holístico	Hardware	Software, hardware, integração
Geographical focus	Alemanha e suas companhias	Mercado Global
Foco Corporativo	PMEs (Pequenas e medias empresas)	Companhias de todos os tamanhos
Foco de otimização	Otimização da produção	Otimização de ativos
Foco de Padronização	Áreas específicas	Recomendações aos organismos de normalização
Abordagem econômica	Economia normativa	Economia Positiva
Abordagem geral do negócio	Reativa	Proativa
Tecnologias envolvidas	Sistemas físico cibernéticos, internet das coisas, Fábricas inteligentes, manufatura aditiva, Big Data	Sistemas físico cibernéticos, internet das coisas, Fábricas inteligentes, Big Data

Tabela 1 : Comparação entre Industrie 4.0 e industrial Internet Consortium. Fonte: MAPI Foundation [24]

A China também possui sua própria iniciativa nesse sentido com o Internet+ [25], bem como outros países vem criando iniciativas individuais, no entanto sempre abordando as mesmas tecnologias.

Como é possível verificar, as tecnologias citadas na tabela 1 que são comuns para ambos projetos, são a base para esta nova revolução. De acordo com a consultoria Boston Consulting Group [26], essas tecnologias de base avançadas, são classificadas como: Sistemas físico cibernéticos, Robôs autônomos, Simulação, Integração horizontal e vertical de sistemas, a internet das coisas, segurança da informação, *Cloud Computing*, manufatura aditiva, realidade aumentada, Big data e *Analytics*. Assim, essas serão as tecnologias abordadas neste trabalho.

2.1.1 Sistemas Físicos Cibernéticos (CPS)

O termo Sistemas Físicos Cibernéticos foi inicialmente utilizado por Helen Gill em 2006 no *National Science Foundation* nos Estados Unidos para definir a “integração da computação com processos físicos” [22].

Essa combinação usualmente é monitorada por leis semânticas definidas por um usuário tornando-se capaz de interagir com humanos. Nesse contexto sistemas virtuais podem ser definidos como uma junção de controles lógicos e sensores enquanto que os sistemas físicos são caracterizados por uma coleção de unidades de atuadores [27].

“Computadores e redes integradas monitoram e controlam os processos físicos, geralmente com loops de realimentação onde os processos físicos afetam o a computação (virtual) e vice-versa” [28].

A evolução dos CPS é dividida em três gerações: A primeira geração de CPS inclui tecnologias de identificação, como etiquetas RFID², que permitem a identificação única. O armazenamento e análise dos dados referentes ao RFID é realizado por uma unidade CPS central que faz todo o gerenciamento das informações. A segunda geração dos CPS já vem equipada com sensores e atuadores com uma gama limitada de funções, que ainda necessitam de uma unidade CPS terceira para gerenciar as informações. Os CPS da terceira geração podem armazenar e analisar dados, estão equipados com vários sensores e atuadores, e são compatíveis com as atuais infraestruturas de rede ethernet e internet, esses são os tipos de CPS que devem fazer parte de uma fábrica Inteligente [29].

A figura 2 mostra a arquitetura de um Sistema físico cibernético, o CPS coleta informações em tempo real sobre as condições do ambiente e também de todo o sistema, e atua sobre as informações coletadas, em alguns casos interagindo com o usuário [30].

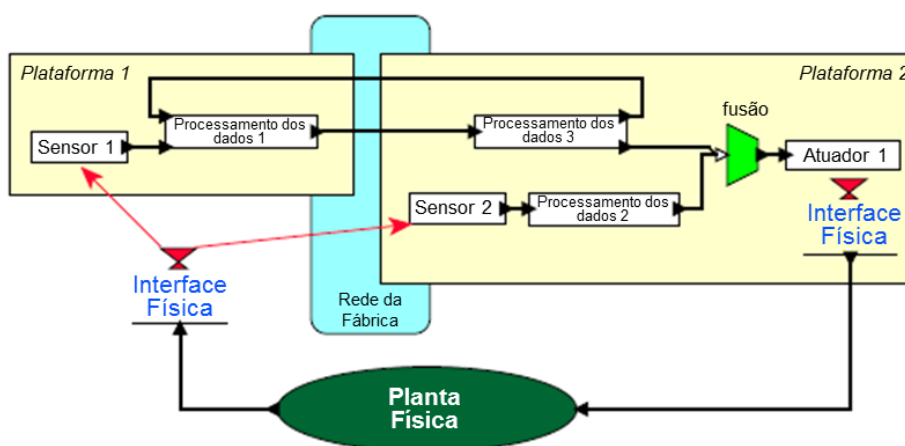


Figura 2 : Estrutura de um CPS [31]

²Tecnologia de Identificação por Rádio Frequência *(Radio frequency identification technology)

Essa abordagem permite maior produtividade dentro das fábricas uma vez que é possível reduzir o número de paradas não planejadas, além de contar com informações reais e atualizadas sobre todo o sistema produtivo na hora de tomar decisões [30].

No entanto a utilização de CPS em larga escala no ambiente industrial que é chamado de CPPS (*Cyber-Physical Production System*), ainda possui desafios a serem superados. Um dos pontos críticos na utilização de CPS, é que um grande número de dispositivos (coisas) e processos (serviços) estão em rede, e tornam-se acessíveis através da Internet. Isso representa um desafio particular em questões de segurança e privacidade [32]. Outros desafios provenientes dessa grande massa de dados são, o desempenho em tempo real, a confiabilidade do sistema, e um planejamento não transparente. Além disso as soluções calculadas pelo sistema, normalmente são irreproduzíveis pelo usuário comum. Esse desafio em particular, incorre na dificuldade de transformar o CPPS em um sistema com uma interface controlável para os responsáveis pela produção, uma vez que o mesmo não teria uma interface amigável entre o homem e a máquina [32].

Entre as soluções já propostas para solucionar esses desafios destaca-se a necessidade de estabilizar a conexão entre os CPS, aumentar a amplitude dos sensores e a capacidade de comunicação dos mesmos dentro da rede. Além disso, há necessidade de desenvolver uma metodologia de como aplicar os CPS em ambiente industrial. Schuh [33] em seu trabalho *Short-term cyber-physical Production Management*, propõe um modelo de implementação conforme a figura 3.

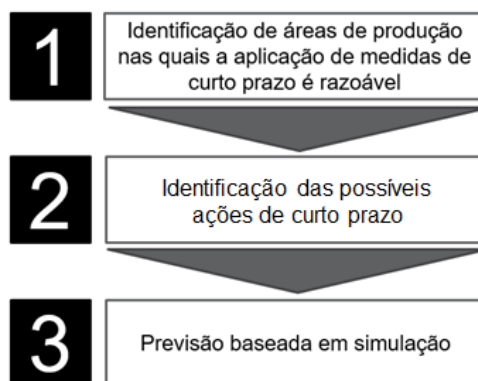


Figura 3: Roadmap para gestão de produção de sistemas físicos cibernéticos [34]

Apesar de ser um modelo simples, Schuh procura introduzir a utilização de CPS em ambientes industriais com o mínimo impacto possível, mas já visando os ganhos oferecidos pela implementação desses sistemas [33].

2.1.2 Internet das coisas (IoT)

O termo “*Internet of Things*” foi usado pela primeira vez por Kevin Ashton em 1999 no contexto da gestão da cadeia de suprimentos [35]. No entanto, na última década, a definição tem sido mais abrangente englobando aplicações como em sistemas de saúde, serviços públicos, transportes, etc. Embora a definição de “coisas” tenha mudado à medida que a tecnologia evoluiu, o principal objetivo de fazer um computador “entender” o significado de uma informação sem o auxílio de intervenção humana permanece o mesmo [36].

A IoT vem evoluindo para transformar a atual Internet estática em uma Internet do futuro totalmente integrada. Isso é possível graças a uma evolução da Internet atual onde existe uma rede de objetos interconectados que não só colhe informações do ambiente (sensoriamento) e interage com o mundo físico (atuação / comando / controle), mas também usa os padrões existentes da Internet para fornecer serviços de transferência de informações, análise, aplicações e

comunicações. Este sistema é alimentado pela prevalência de dispositivos habilitados por tecnologia sem fio aberta, como Bluetooth, RFID, Wi-Fi e serviços de dados telefônicos [37].

Conforme identificado por Atzori [35], a Internet das Coisas pode ser vista em três visões diferentes: orientado à Internet (*middleware*), orientado a coisas (sensores) e orientado a semântica (conhecimento). E embora este tipo de delineamento seja necessário devido à natureza de cada contexto, a utilidade de IoT só pode ser alcançada em um domínio de aplicação onde as três visões se cruzam conforme a figura 4.

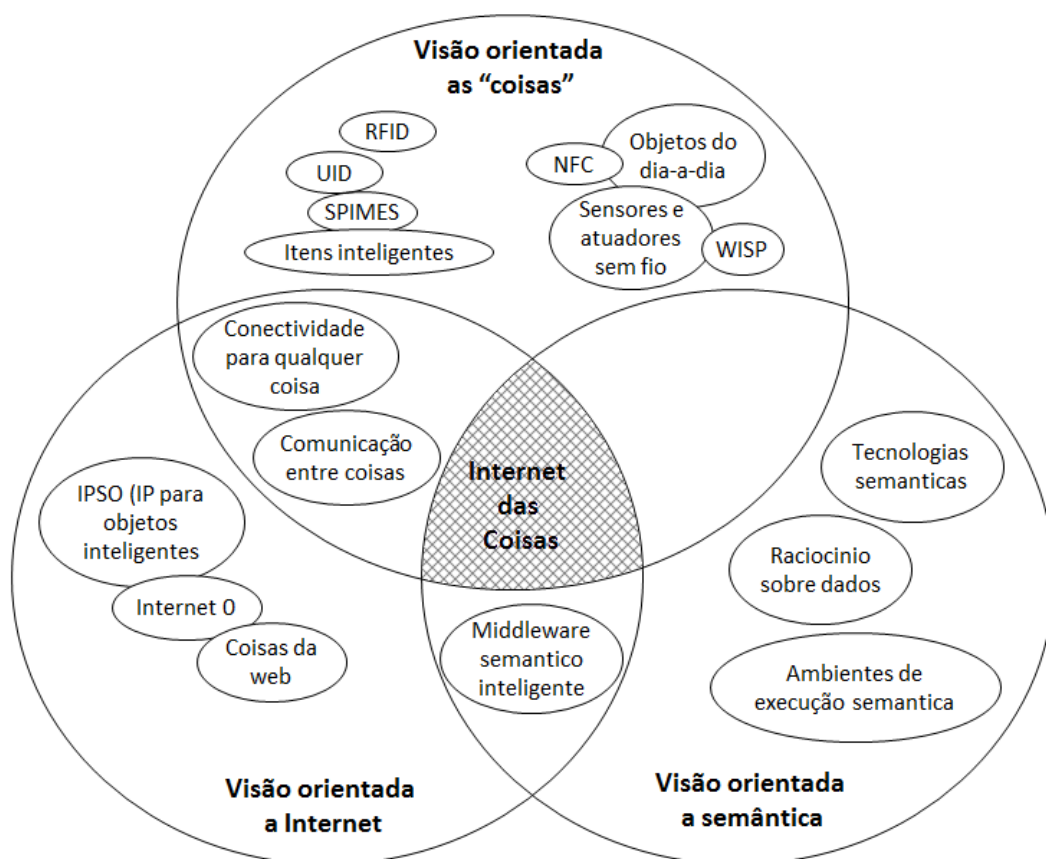


Figura 4 : paradigma da "Internet das Coisas" como resultado da convergência de diferentes visões [35].

Há ainda outras definições concernentes ao tema internet das Coisas:

De acordo com o *Cluster of European research projects on the Internet of Things* [38]: As "coisas" são participantes ativos nos processos empresariais informativos e sociais, onde são capacitadas para interagir, e comunicar entre si e com o meio ambiente pelo intercâmbio de dados, contendo informações sensíveis ao ambiente. As "coisas" reagem autonomamente aos eventos mundiais reais / físicos, e influenciam o ambiente, executando processos que desencadeiam ações, e criam serviços com ou sem intervenção humana direta.

Segundo a pesquisa da Forrester [39], um ambiente inteligente - usa tecnologias de informação e comunicação para tornar mais conscientes, interativas e eficientes os componentes e serviços de infraestrutura crítica da administração, educação, saúde, segurança pública, setor imobiliário, transporte e serviços públicos da cidade.

A ideia básica destes conceitos é a presença generalizada da internet envolta de uma variedade de coisas ou objetos - como *tags* de identificação por radiofrequência (RFID), sensores, atuadores, telefones celulares, etc., que por meio de esquemas de endereçamento exclusivos, são capazes de interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos para alcançar objetivos comuns [35].

Os avanços e convergência da tecnologia de sistemas micro-eletrônicos mecânicos (MEMS), comunicações sem fio e eletrônica digital resultaram no desenvolvimento de dispositivos em miniatura com a capacidade de detectar, computar e comunicar sem fio em curtas distâncias. Estes dispositivos em miniatura chamados "nós" interconectam-se para formar redes de sensores sem fios (WSN) e encontram aplicações abrangentes em monitoramento ambiental, de infraestruturas, de tráfego, etc. [38].

Para a realização de uma visão completa de IoT, recursos de computação e armazenagem eficientes, seguros, escaláveis e orientados para o mercado são essenciais. A computação em nuvem [40], o paradigma mais recente, é baseado em tecnologias de armazenamento virtual.

Em um mundo amplamente conectado é possível imaginar milhões de “coisas” conectadas entre si. Isso só é possível graças a tecnologia de IPV6 (*Internet Protocol*). O endereço IP ou 'protocolo Internet' é um número exclusivo que identifica qualquer coisa que esteja conectada à Internet. Ele é usado para se comunicar diretamente com computadores e outros dispositivos. O sistema de endereços IP atual (IPV4) está em execução com mais de 99% de sua capacidade ocupada. Como resultado, um grande número de computadores, tablets e smartphones são organizados em sub-redes reservadas, como o bloco de endereço de 192.168.0.0. para 192.168.255.255 em redes privadas. Esses endereços só podem ser acessados via roteadores utilizando endereços de IP dinâmicos (mudam constantemente). A demanda está crescendo, uma vez que webcams, consoles de jogos, TVs e outros aparelhos domésticos também precisam de seus próprios endereços IP. A próxima geração de formato IPv6 (RFC 2460) usa 32 dígitos, o que significa que ele pode suportar mais de 340 setilhões de endereços IP. Isso é 340 seguido por 36 zeros, ou cerca de 600 quadrilhões endereços para cada milímetro quadrado da superfície da Terra. A notação hexadecimal é usada para abreviar endereços IPv6, tornando-os muito mais curtos. Por exemplo, ':: 1' – (dois pontos duplos seguido por um) - descreve o endereço *localhost*, que contém 15 zeros e um 1 e é o equivalente ao endereço 127.0.0.1 *localhost* no formato IPv4 [41].

Neste sistema, qualquer nó pode agora possuir o seu próprio endereço IP. Qualquer produto, pacote ou objeto computadorizado pode ser acessado diretamente através de um endereço exclusivo na internet. No futuro, a web não

será restrita apenas a computadores e smartphones, que também abrangerá objetos domésticos e as coisas do dia-a-dia [41].

Ao se referir a aplicação industrial da Internet das coisas, as informações coletadas dessas redes são usadas apenas pelos proprietários e os dados podem ser liberados seletivamente. Monitoramento ambiental é a primeira aplicação comum que é implementada para manter o controle do número de ocupantes e gerenciar os recursos de infraestrutura dentro de uma planta (por exemplo, HVAC, iluminação) [42].

Os sensores sempre foram uma parte integrante da configuração da fábrica para segurança, automação, controle de temperatura, etc. Isso eventualmente será substituído por um sistema “*wireless*” dando a flexibilidade para fazer mudanças na configuração sempre que necessário. Isso não é nada além de uma sub-rede IoT dedicada à manutenção da fábrica [38].

A utilização da Internet das Coisas na indústria torna possível uma interoperabilidade completa dos dispositivos interligados, proporcionando-lhes um grau mais elevado de inteligência, permitindo a sua adaptação e comportamento autônomo, garantindo simultaneamente a confiança, a privacidade e a segurança das informações geradas. No entanto, a IoT coloca vários problemas novos sobre os aspectos de rede [42].

Organismos industriais, de normalização e de investigação estão atualmente envolvidos em atividade de desenvolvimento de soluções para satisfazer as exigências tecnológicas realçadas [35].

Um *roadmap* dos desenvolvimentos chave na pesquisa de IoT no contexto de aplicações é mostrado na Fig. 4, que inclui os *drivers* de tecnologia e os principais resultados de aplicação esperados na próxima década [36].

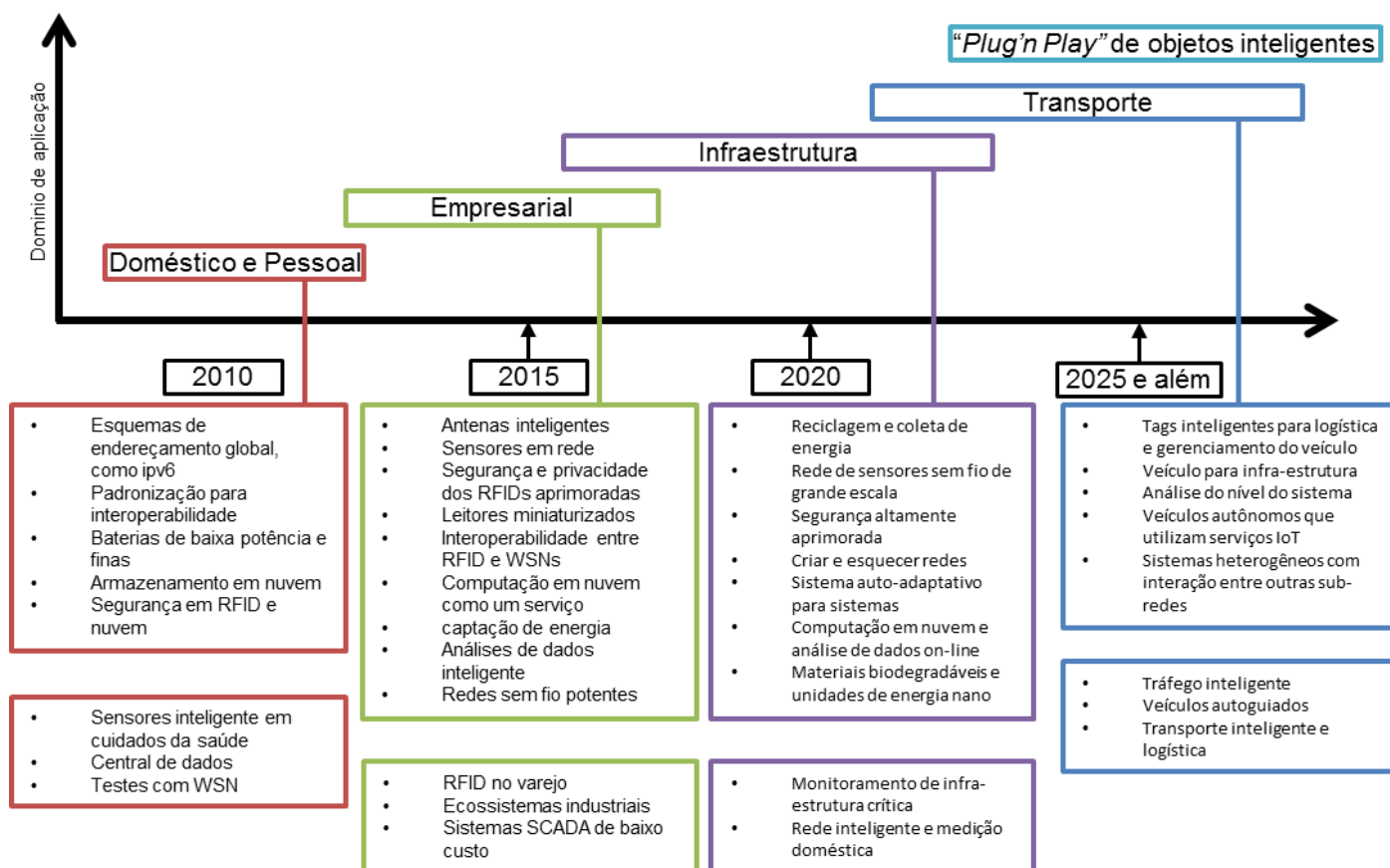


Figura 5: Roadmap Internet das coisas [36]

Muitas questões desafiadoras ainda precisam ser tratadas e tanto os desenvolvimentos tecnológicos entre eles própria questão da segurança virtual, quanto as questões sociais envolvendo a resistência a utilização da tecnologia em certos ambientes precisam ser tratados antes que a ideia de IoT seja amplamente aceita [36].

Alguns desafios abertos são discutidos com base nos elementos IoT apresentados anteriormente. Os desafios incluem desafios específicos de IoT, como privacidade, detecção participativa, análise de dados, visualização baseada em SIG e computação em nuvem, além dos desafios padrão da WSN, incluindo arquitetura, eficiência energética, segurança, protocolos e qualidade de serviço. O objetivo final é um reconhecimento automático de objetos inteligentes que podem

ser implantados em qualquer ambiente com uma infraestrutura de rede Interoperável, permitindo que eles se misturem com outros objetos inteligentes em torno deles. A padronização de bandas de frequência e protocolos desempenham um papel fundamental na realização deste objetivo [43].

2.1.3 Internet de serviços (IoS)

A organização *The Cross-European Technology Platforms (X-ETPs) Group* considera a Internet dos Serviços (IoS) como um pilar fundamental da Internet futura conforme mostra a figura 5, o objetivo principal da IoS é apresentar tudo na Internet como um serviço, incluindo aplicações de software, plataformas para desenvolver e entregar estas aplicações, além das infraestruturas subjacentes (CPUs, armazenamento, redes, etc.)[44].

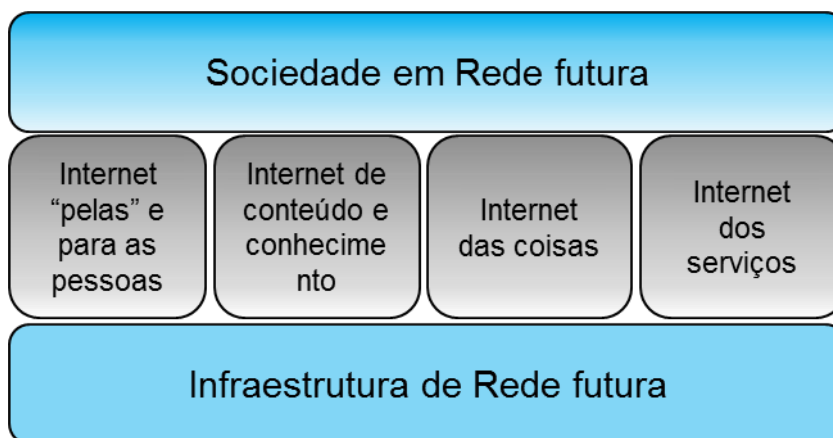


Figura 6: Pilares da Internet do Futuro [45]

O IoS descreve uma infraestrutura que usa a Internet como meio para oferecer e vender serviços. Como resultado, os serviços se tornam bens comercializáveis. O mercado de serviços é onde os consumidores de serviços e os prestadores de serviços se reúnem para transações de serviços comerciais e, assim, se envolvem em interações comerciais. Este mercado é uma visão habilitadora para a tecnologia da IoS. Assim, a IoS fornece a base comercial e

técnica para modelos de negócios avançados, onde os prestadores de serviços e consumidores formam redes de negócios para fornecimento e consumo de serviços. Dentro dessas redes de negócios, as organizações trabalham juntas para oferecer um serviço aos consumidores. Por exemplo, uma rede de valor baseada em serviços pode incluir a pesquisa, desenvolvimento, design, produção, marketing, vendas e distribuição de um determinado serviço. Todas estas fases são responsáveis por determinar o valor total de um serviço. O valor é criado a partir da relação entre a empresa, seus clientes, intermediários, agregadores e fornecedores. Esta evolução permite uma nova forma de variação dinâmica na distribuição das atividades da cadeia de valor individual [46].

No futuro, o conceito acima deve ser transferido de fábricas individuais a toda a cadeia de fornecedores e clientes. Fábricas podem ir um passo além e oferecer tecnologias de produção especiais em vez de apenas um tipo de produção. Estas tecnologias de produção especiais serão oferecidas através da IoS e podem ser usadas para fabricar produtos customizados ou ainda compensar as capacidades de produção que estão ociosas [47].

No entanto assim como as tecnologias já citadas, a IoS também necessita superar alguns desafios para o seu pleno funcionamento, como aspectos legais, comunitários e modelos de negócio, negociação de acordos de nível de serviço (SLA - *Service Level Agreement*) que visa a elaboração de contratos de prestação de serviços para estes novos modelos de negócios, assim como uma aceitação da sociedade, regulamentação governamental, infraestrutura física entre outros que demandam alto investimento para resolução destes desafios [44].

2.2 Fábricas Inteligentes

Em um futuro breve trabalhadores, máquinas e matérias-primas conseguirão se comunicar em tempo real pela Internet. Dessa forma, o processo de produção poderá ser realizado por meios digitais em uma fábrica inteligente e aplicado ao ambiente real, em que o trabalhador poderá acompanhar tudo a distância, obtendo informações em tempo real [48].

Existem diversos termos usados que também são utilizados para as mesmas definições entre eles: aU-Factory (fábrica onipresente), fábrica de coisas, fábrica em tempo real, ou fábrica inteligente do futuro [49].

Yoon et al., *Apud* Radziwuon et al.[49] desenvolveram um quadro conceitual para o *design* do produto, fabricação e reciclagem por meio da chamada tecnologia de computação ubíqua³. De acordo com eles, os paradigmas de manufatura convencionais, tais como os sistemas de manufatura flexíveis, *lean*, holônicos e manufatura ágil não resolvem os principais problemas da indústria, como a imprecisão na previsão da demanda ou dificuldade no controle de produção individualizado.

As principais características da U-Factory (que denotam como sinônimo de Fábrica Inteligente) devem ser: transparência da informação, controle autônomo, e manufatura sustentável. Os principais meios para implementar esta visão são: compatibilidade com a tecnologia RFID, tecnologia de rede de sensores ubíquos ou tecnologia de sistema de localização em tempo real (RTLS)[49].

Zuehlke [50] apresenta outra visão de fábrica do futuro, relacionada ao conceito *Industrie 4.0*. Esta visão surgiu por uma iniciativa colaborativa

³ Computação ubíqua (*Ubiquitous Computing*) ou computação pervasiva é um termo usado para descrever a onipresença da informática no cotidiano das pessoas.[78]

(*SmartFactory KL, Technology Initiative*) da academia (German Research Center for Artificial Intelligence DFKI) e da indústria (Siemens, Bosch, BASF e Endress - Hauser entre os outros) parceiros em Kaiserslautern, Alemanha. Os objetivos apresentados foram: "desenvolvimento, aplicação e distribuição de tecnologias inovadoras de plantas industriais e criação de bases para seu uso generalizado na pesquisa e na prática" [50]. Zuehlke, ressalta de forma realista que no estágio atual de desenvolvimento tecnológico, esta visão ainda está longe da visão de Weiser de computação ubíqua: "... quando a tecnologia recua no pano de fundo de nossas vidas". Uma maneira de dizer que a tecnologia estará tão presente no dia-a-dia a ponto de se tornar invisível. [51].

Uma Fábrica Inteligente na visão de Zuehlke [50] é um caminho rumo a uma fábrica de coisas, que está alinhada com o conceito de Internet das Coisas (IoT). Ao contrário de Yoon et al. [52], Zuehlke indica fortemente o papel dos paradigmas de fabricação convencional, ou seja, de tecnologias enxutas, que, com a ajuda de tecnologias inteligentes futuras, devem elevar os sistemas de fabricação a níveis mais avançados.

Os pré-requisitos para a fábrica inteligente descritos por Zuehlke *Apud* Radziwon [49] são: um grau de inteligência embutido em todos, mesmo pequenos, dispositivos acoplados, enquanto algumas das funcionalidades importantes devem ser fornecidas pela tecnologia RFID.

Uma Fábrica Inteligente deve não só ter uma estrutura modular (módulos capazes de serem utilizados em diversos processos diferentes), mas também ser interligada por uma rede sem fio, onde cada dispositivo poderia ter seu próprio endereço IP (*Internet Protocol*). Em seu trabalho, Zuehlke [50] indica alguns desafios importantes deste sistema que já estão presentes também nos conceitos

de Internet das Coisas, e sistemas físico cibernéticos, destacando-se a falta de um protocolo padronizado, e a dificuldade de fazer dispositivos trabalharem em conjunto sem “adaptadores”. Sendo também necessário regras que permitam o controle do processo. Além do que, antes de todos esses dispositivos estarem prontos para criar uma fábrica inteligente, sua segurança e confiabilidade precisam ser cuidadosamente testadas [41,42].

A próxima geração da manufatura também é estudada na Universidade de Stuttgart, onde, com base na abordagem de Weiser de um ambiente inteligente [51], Lucke et al. [23] tentou interconectar o físico (ou seja, a posição de uma ferramenta) e um mundo digital (ou seja, documentos eletrônicos). Em sua definição, a Fábrica Inteligente é definida como uma fábrica que auxilia pessoas e máquinas na execução de suas tarefas. Isto é conseguido com sistemas que operam no nível das máquinas, chamados “Calm-systems” e “context aware”. Isso significa que o sistema pode levar em consideração informações de contexto como a posição e *status* de um objeto. Estes sistemas realizam suas tarefas com base em informações provenientes do mundo físico e virtual.

Um tipo de Informação do mundo físico, por exemplo, é a posição ou condição de uma ferramenta, em contraste com a informação do mundo virtual, como documentos eletrônicos, desenhos e modelos de simulação. [...] “Calm-Systems” são, neste contexto, o hardware de uma fábrica inteligente. A principal diferença entre o “Calm-System” e outros tipos de sistemas é a capacidade de se comunicar e interagir com seu meio ambiente [23].

Dujin et al. [53], mostra as características essenciais do cenário industrial deste contexto, observadas na figura 7. Para ele, processos realizados em fábricas inteligentes podem obter dados de fornecedores, clientes e da própria empresa.

Estes dados podem ser avaliados para, posteriormente, serem integrados ao sistema que controla a produção. Nele, a cadeia de suprimentos é toda integrada. A utilização de novas tecnologias como robôs, impressoras 3D e sensores resulta em processos de produção mais ajustados, com tempo de resposta real.

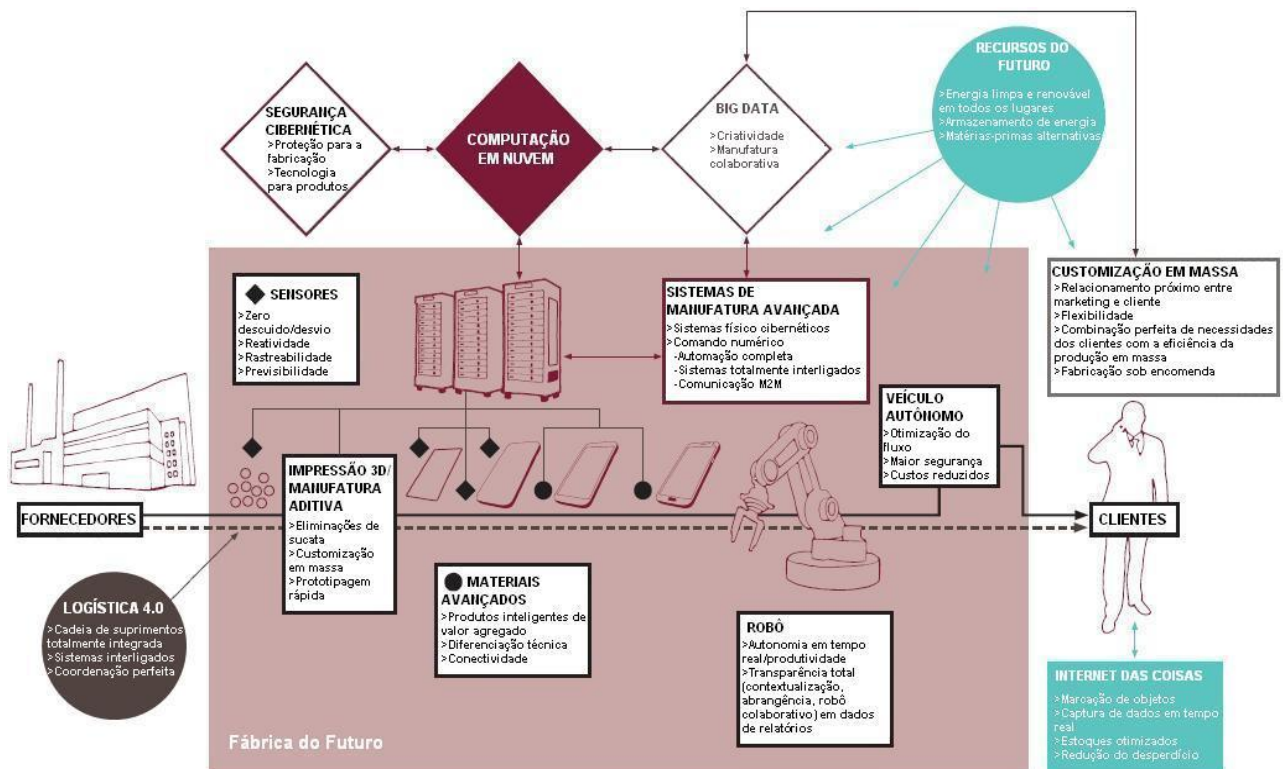


Figura 7: Estrutura de uma Fábrica Inteligente [53]

Em uma junção de todas as visões sobre Fábricas Inteligentes, Radziwon et al. [49] define a Fábrica Inteligente como, uma solução de manufatura, que fornece processos de produção flexíveis e adaptáveis, e que irão resolver problemas surgidos de uma produção dinâmica, e com mudanças rápidas, em um mundo de crescente complexidade. Esta solução pode, por um lado, estar relacionada com a automação, entendida como uma combinação de *software*, *hardware* e mecânica, que deveria levar à otimização da produção e desperdício de recursos. E por outro lado, pode ser visto em uma perspectiva de colaboração entre fornecedores e

clientes industriais e não industriais, onde a inteligência vem da formação de uma organização dinâmica.

2.3 Produtos Inteligentes

Aitenbichler *et al.* [54] diz que produtos inteligentes são objetos do mundo real, dispositivos ou serviços providos com o conhecimento sobre si mesmos, outros dispositivos complementares e seus componentes.

Para que um produto se torne inteligente, é preciso que ele seja dotado da capacidade de realizar funções autônomas. Sobre isso, Rijdsdijk e Hultink [55] dizem que os produtos inteligentes apresentam pelo menos uma das capacidades listadas e explicadas na tabela 2.

Tabela 2 - Capacidades dos Produtos Inteligentes. Fonte: Adaptado de [55].

Capacidade	Função
Autonomia	Capacidade de operar sem interferência do usuário
Adaptabilidade	Capacidade do produto de integrar sua funcionalidade ao ambiente no qual se insere
Reatividade	Habilidade do produto de reagir às mudanças do ambiente ou contexto
Multifuncionalidade	Permite que um produto execute múltiplas funções
Cooperação	Conecta outros dispositivos para atingir um objetivo comum
Quase-humana	Permite a comunicação com o usuário de forma intuitiva e natural
Personalidade	Permite a apresentação do produto como um objeto racional

Miche *et al.* [56] propõem uma arquitetura padrão dos produtos inteligentes como mostrado na figura 3. Nela, cada produto inteligente pode incluir capacidades de entrada e saída, atuadores para acionar sua funcionalidade *built-in*, sensores, bem como dados específicos do produto. Para se conectar a recursos no ambiente, um módulo de comunicação é integrado em cada produto inteligente. O módulo de comunicação é baseado no “*middleware*”, ferramenta de armazenagem e análise

de dados, que permite que os produtos se comuniquem uns com os outros de um modo ponto a ponto.

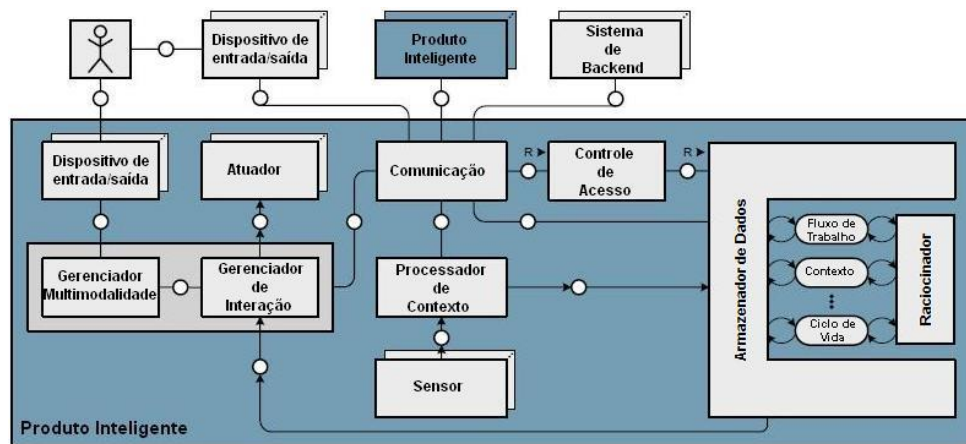


Figura 8: Visão geral da arquitetura para produtos inteligentes Fonte: Adaptado de [56]

Segundo Dujin et al. [53], no futuro robôs irão se tornar inteligentes, o que significa que serão capazes de se adaptar, comunicar e interagir. Isso permitirá saltos de produtividade para as indústrias, tendo uma profunda mudança na estrutura de custos, visão e locais de produção. Ele complementa que na *Indústria 4.0*, robôs e seres humanos irão trabalhar lado a lado com suas funções integradas.

2.4 Simulação Virtual

Outro conceito importante que possibilita a adoção de Fábricas Inteligentes, é a integração vertical e horizontal das informações. Na integração horizontal toda a cadeia de processo industrial se comunica entre si, de forma que a informação é compartilhada por toda a linha de produção [57]. Na integração vertical, a informação também é compartilhada entre os processos gerenciais, com os demais sistemas da fábrica, de modo que os sistemas de controle de produção se comunicam com os sistemas de ERP (*Enterprise Resource Planning*) ou desenvolvimento do produto (*PLM- Product Life Management*).

Nesse contexto, tecnologias de manufatura digital constituem o elemento chave para contribuir com esta integração [58], por conectar os dados gerados pelo desenvolvimento do produto, planejamento da produção e planejamento da fábrica [59].



Figura 9 - Integração na Fábrica Digital. Fonte: Adaptado de [60]

Manufatura Digital, constitui no uso ferramentas para realizar simulações virtuais do processo [60]. Define-se simulação virtual como "um processo de experimentação com um modelo de um sistema real para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno". A simulação tem a finalidade de representar características de um sistema real, pois, dessa forma, cenários podem ser testados por meio de experimentação com uso de modelos [60].

É por isso que a simulação está entre as tecnologias base para Indústria 4.0 uma vez que ela é utilizada na manufatura digital, como elo de ligação entre execução da produção, planejamento da produção e desenvolvimento do produto [61].

Nos sistemas de simulação atuais, as mudanças que ocorrem no chão de fábrica, assim como variáveis da simulação, muitas vezes diferem do ambiente

simulado, dificultando obtenção de resultados exatos na simulação [62]. No entanto dentro do contexto da indústria 4.0 a simulação é realizada em conexão com equipamentos como a IHM (Interface Homem-Máquina) e o CLP (Controlador Lógico Programável) que são os mesmos equipamentos utilizados na produção. Assim os dados fornecidos para a simulação são exatamente os mesmo dados que estão sendo processados no chão de fábrica [20].

Um exemplo desse conceito é o comissionamento virtual que envolve replicar o comportamento de uma ou mais peças de *hardware* em um ambiente de *software* (simulação) [63]. O objetivo final do comissionamento virtual, é proporcionar a um engenheiro com uma planta virtual (ambiente de *software*) validar a lógica do CLP, antes de sua implementação real; isso conseqüentemente melhora a qualidade e permite uma transição suave do ambiente virtual para o real [64].

“No entanto, uma das principais desvantagens desta abordagem é a quantidade excessiva de tempo e esforço envolvidos na construção de um modelo virtual preciso da planta industrial. Geralmente, a construção de uma planta virtual requer consideravelmente mais tempo, quando comparado com o tempo de programação do CLP por exemplo”. Para construção do modelo de comissionamento, é necessário o modelamento de todo ambiente, a programação do CLP, a adaptação para interface do software e posteriormente, um tratamento dos dados, para colocar a nova programação no equipamento comissionado. Sendo assim muitas vezes ainda é mais rápido realizar alterações no CLP durante a instalação de um novo processo, do que simular isso previamente. [65].

2.5 Implementação da *Indústria 4.0*

De acordo com Verrieré [66] a implementação da *Indústria 4.0* começa com a definição da estratégia do negócio e o compartilhamento desta estratégia com

todas as áreas da empresa. Para a realização desse projeto é necessário um esforço coletivo. Dessa forma é necessária uma visão compartilhada dos desafios e transformações necessárias por todos os colaboradores da empresa.

Para garantir que a mudança necessária ocorra, é necessário um escopo rigoroso que aborde todas as dimensões relevantes (tecnológicas, organizacionais, humanas e financeiras). Uma fábrica dentro do conceito *Industrie 4.0* precisará de ferramentas e inovações tecnológicas, para se construir um modelo competitivo e atraente, onde não se deve esquecer a dimensão humana [66] .

De acordo com Jager [67] para implementar a *industrie 4.0*, primeiro, a empresa deve definir seus próprios objetivos de *industrie 4.0*. Para este fim, as divisões de trabalho, são definidas onde mudanças significativas devem ocorrer pela digitalização. Para a implementação devem ser estruturados projetos, definindo-se o estabelecimento de pacotes de trabalho para atingir os objetivos, planejamento da definição de responsabilidades sempre se baseando na definição de objetivos.

Com tantos conceitos e tecnologias envolvidos a implementação do programa *Industrie 4.0* dificilmente poderá ser realizada de uma única vez sem um altíssimo investimento, para tanto, dentro de cada tecnologia já citada, de acordo com Hermann et al. [22] foram separados alguns passos a seguir que ajudarão as indústrias a iniciar a migração, são esses:

- Interoperabilidade: a capacidade dos sistemas físico cibernéticos (estações de montagem, equipamentos, produtos, etc.), humanos e Fábricas inteligentes para se conectar e comunicarem-se uns com os outros por meio da Internet das Coisas e da Internet dos Serviços.

- Virtualização: Criação de um gêmeo digital da Fábrica Inteligente é criado ligando os dados dos sensores (monitoramento de processos físicos) com modelos de plantas virtuais e modelos de simulação.
- Descentralização: Capacidade dos sistemas físicos cibernéticos dentro Fábricas inteligentes para tomar decisões por conta própria.
- Análise de dados em tempo real: capacidade de coletar e analisar dados e fornecer informações extraídas dos dados de forma imediata.
- Orientação a Serviços: oferta de serviços (de sistemas físico cibernéticos, humanos ou Fábricas inteligente) por meio da Internet dos Serviços.
- Modularização: adaptação flexível das Fábricas Inteligentes para mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais.

Khan, A. & Turowski, K. [68], propõe uma abordagem de implementação que consiste em nove fases. Esta abordagem pode ser utilizada como base para qualquer projeto-piloto a ser implementada dentro do contexto da indústria 4.0. A abordagem é de natureza interativa, de maneira que ao finalizar a última fase a mesma interage com a primeira novamente conforme ilustrado na Figura 7.

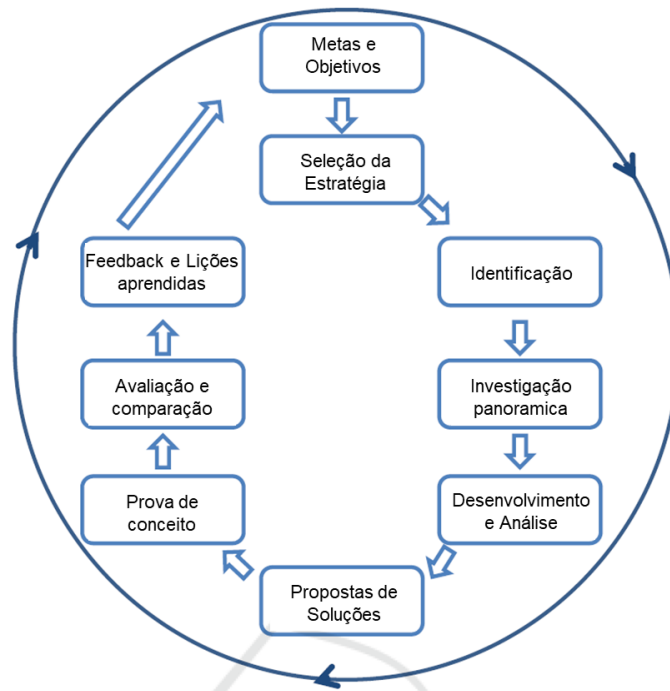


Figura 10: Abordagem de implantação para Indústria 4.0 [68]

Na fase de objetivos, a organização define as metas e objetivos que deseja alcançar no projeto

Na fase de seleção de estratégia, para as ações a organização decide como deseja proceder e seleciona a estratégia que deseja aplicar. Quais são os passos concretos que devem ser tomados para alcançar as metas e os objetivos descritos na fase anterior. Novos modelos de negócios (é a forma como uma empresa cria, entrega e captura valor”) [69] podem ser introduzidos ou desenvolvidos nesta fase.

Na fase de identificação do método, são recolhidos requisitos de alto nível que demandam alto investimento ou um nível de aprovação igualmente alto. Os parceiros e partes interessadas serão identificados para o projeto. Serão realizados *workshops* colaborativos para identificar desafios e oportunidades. Do ponto de vista das partes interessadas, o objetivo é identificar papéis, responsabilidades e tarefas no projeto.

Na fase de investigação de cenário, serão coletadas informações detalhadas sobre o cenário atual.

Na fase de projeto e análise, as informações coletadas serão analisadas. Esta etapa também trará uma melhor compreensão do cenário e ajuda a projetar a solução.

Na fase de proposta de solução, várias alternativas são analisadas e comparadas, uma delas sendo proposta, com a finalização nesta fase.

Para a solução selecionada serão preparadas orientações específicas. Aqui também é realizada verificação de viabilidade para realizar o projeto, se a organização tem restrições ou não. Nesta fase, será executada a prova de conceito da solução selecionada.

A fase de avaliação consiste em rever os resultados do projeto. Aqui a situação pós-implementação será avaliada se o objetivo e metas definidos são alcançados ou não.

A fase de ciclo de realimentação tem a finalidade de melhoria contínua. A experiência adquirida será documentada e a sugestão será preparada no caso de desenvolvimento de projeto em escala maior. Também inclui sugestões ou diretrizes para melhorar o processo geral de outros projetos.

A VDMA (Associação Alemã de Fabricação de Máquinas e Instalações Industriais) [70] formulou um documento com um guia de implementação da Indústria 4.0. Este guia fornece orientação para a Indústria de máquinas e ferramentas da Alemanha, considerada de médio porte. O objetivo do guia é fornecer uma ferramenta para que as empresas possam desenvolver seus próprios modelos de negócio baseados nos requisitos da indústria 4.0 [70].

Este guia reforça, assim como os demais autores que, para a implementação ocorrer é necessário um forte compromisso da alta administração.[53, 55, 58]. O guia traz também uma caixa de ferramentas que mostra as diferentes camadas de aplicação da indústria 4.0 em termos de produtos e processos. Os níveis de aplicação são divididos em cinco fases de desenvolvimento tecnológico que se reforçam mutuamente [70].

A figura 10 mostra a abordagem estabelecida no guia.



Figura 11: Abordagem do guia VDMA para indústria 4.0 (Fonte: adaptado de [70])

Na fase de preparação, busca-se um conhecimento aprofundado de seu próprio mercado bem como de sua produção. Nesta fase também se estabelece uma base de conhecimento que será necessário para apoiar o desenvolvimento de ideias referentes ao conceito de indústria 4.0 [70].

A fase de análise tem por objetivo, identificar os conhecimentos disponíveis na empresa, em relação às tecnologias da *Industrie 4.0*. A posição de mercado da empresa, e a experiência da empresa com o tema *Industrie 4.0*, são classificadas nesta fase. A análise das competências, ou campos de especialização é realizada tanto para os produtos, como para a produção. Essa análise é realizada com base nas camadas de aplicação, e estágios de desenvolvimento da caixa de ferramentas [70].

Durante a fase de criatividade o objetivo é a geração de novas idéias e a posterior elaboração de conceitos para modelos de negócios. A implementação será realizada com base nos fundamentos criados na fase de análise em um processo que consiste em duas etapas. Na primeira parte do processo, os participantes do *workshop* identificam e colecionam as idéias iniciais. Essas idéias são então discutidas e desenvolvidas na segunda parte [70].

Na fase de avaliação o objetivo é a avaliação dos conceitos previamente elaborados para os modelos de negócios. Os participantes classificam os conceitos de modelos empresariais elaborados no workshop, de acordo com seu potencial de mercado, ou seu potencial de produção, bem como de acordo com os recursos necessários para implementação. Identifica-se então os modelos de negócios com um alto potencial de sucesso e pouca utilização [70].

A última fase conforme a figura 10, é a implantação, nesta fase são elaboradas as propostas de projetos, e realizada uma avaliação mais crítica para apresenta-las a alta gerência. Sendo então executados conforme aceitação [70].

Durante a fase de análise e os workshops internos é utilizado como referência a caixa de ferramentas, essa ferramenta foi desenvolvida, com o intuito de consolidar as principais tecnologias e visão da indústria 4.0, permitindo uma implementação gradual das ideias [70].

O objetivo da caixa de ferramentas é tornar claro as diversas ideias, apontando potenciais de desenvolvimento, no entanto. Uma vez que as tecnologias e conceitos ainda estão em desenvolvimento, a caixa de ferramentas serve como um modelo de inspiração e deve ser atualizada conforme novos conceitos e tecnologias irão surgir [70].

A caixa de ferramentas é dividida em duas partes, produto (figura 12) e processo (figura 13). Sendo ainda divididas em camadas de aplicação nas linhas da tabela e estágios de desenvolvimento nas colunas [70].


A parte de produtos da caixa de ferramentas, suporta a geração de ideias referente ao desenvolvimento de produtos, que podem ser produtos que contém diversos componentes como também, componentes únicos de um produto específico. É dividida nos seguintes níveis de aplicação: sensores e atuadores, comunicação e conectividade, armazenamento de dados e troca de informações, monitoramento, serviços de TI e modelos de negócios relacionados a produtos, com seus respectivos estágios de desenvolvimento conforme a figura 12 [70].

A caixa de ferramentas foi desenvolvida com base nas indústrias de máquina ferramenta de médio e pequeno porte, de forma que o as camadas de aplicação da tabela de produtos, possui uma maior aplicabilidade para este tipo de produto [70].



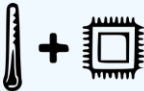

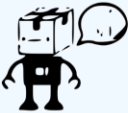

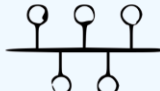











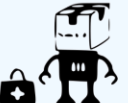


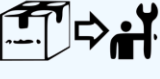


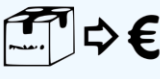




A parte da caixa de ferramentas referente a produção, possui ideias e abordagens referentes a área de produção da indústria. O foco principal está em como otimizar os processos de produção, e como reduzir os custos de produção. As camadas de aplicação estão divididas em: processamento de dados na produção, comunicação máquina-máquina, conectividade corporativa com a produção, infra-estrutura de informação e tecnologia de telecomunicações na produção, interfaces homem-máquina e eficiência para pequenos lotes de produção.

O foco principal também se dá em ambientes industriais semelhantes a indústria de máquinas ferramentas.

Caixa de Ferramentas Industrie 4.0



Industrie 4.0

Produto						
Camadas de Aplicação	Integração de Sensores e Atuadores					
	Nenhuma utilização de sensores e atuadores	Sensores/atuadores estão incorporados/integrados	Dados dos sensores são processados pelo produto	Dados são avaliados/interpretados pelo produto para análise	O produto reage automaticamente com base nos dados obtidos	
	Comunicação / Conectividade		I/O			
	Nenhuma informação do produto	O produto envia e/ou recebe sinais I/O	O Produto dispõe de interface fieldbus	O produto dispõe de interface para Ethernet industrial	O produto dispõe de acesso à internet	
	Funcionalidades para armazenamento e troca de informações					
	Nenhuma funcionalidade	Capacidade para identificação única	O produto dispõe de armazenamento de dados passivo	Produto com armazenamento de dados para troca autônoma de informações	Troca de dados e informações como parte integrante	
Monitoramento						
Nenhum monitoramento através do produto	Detecção de falhas	Registro de condição operacional para diagnósticos	Prognóstico da própria capacidade operacional	Decisões autônomas para controle		
Serviços de TI relacionados ao produto						
Nenhum Serviço	Serviços através de portais online	Execução do serviço diretamente sobre o produto	Execução autônoma de serviços	Plena integração na infraestrutura de serviços de TI		
Modelos de Negócios sobre o produto						
Ganho através da venda de produtos padrão	Venda e consultoria sobre o produto	Venda, consultoria e adaptações de produtos às necessidades dos clientes	Venda adicional de serviços relacionados ao produto	Venda de funções do produto		

Classes de Desempenho

Figura 12: Caixa de ferramentas, Produto (Fonte: adaptado de [57])

Caixa de Ferramentas Industrie 4.0

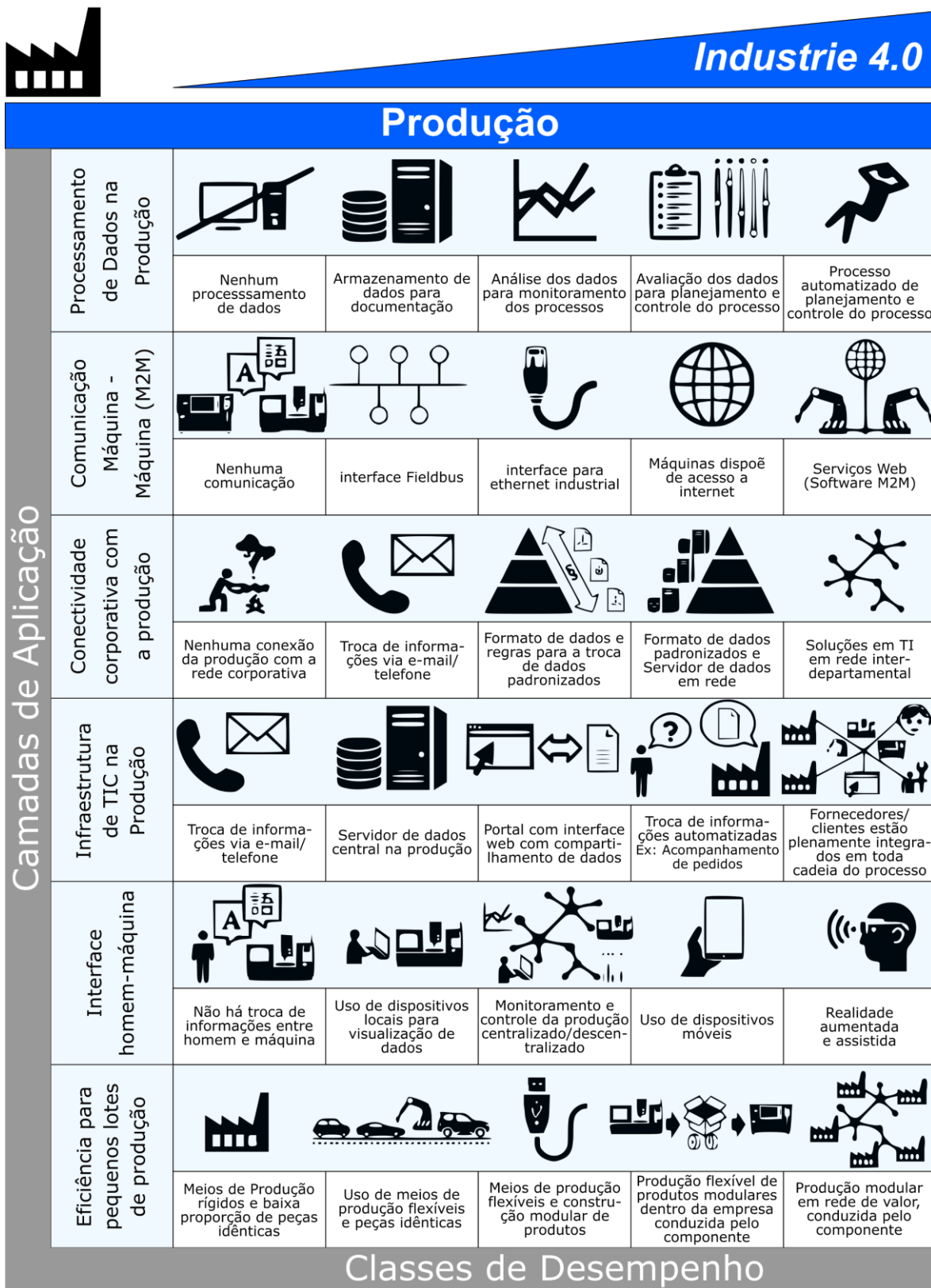


Figura 13: Caixa de ferramentas, guia da Industria 4.0 (Fonte: adaptado de [70])

2.6 Benefícios esperados do programa *Industrie 4.0*

Segundo o relatório *Industrie 4.0 Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution* de Geissbauer, et al. [72] é esperado nos próximos cinco anos, que as empresas tenham benefícios quantitativos significativos dos investimentos nas aplicações da *Industrie 4.0*. Estima-se que haverá uma média de 18% no aumento da eficiência nas indústrias, isto corresponde a um aumento anual de 3,3% de eficiência conforme figura 14, mais do que um terço do alcançado pelas empresas do mesmo setor que não aplicaram as tecnologias da *Industrie 4.0*.

Esse resultado é obtido devido a implementação de melhorias em toda a cadeia de produção, são esperados benefícios como: redução de desperdícios, melhor controle de qualidade, maior flexibilidade e padronização de processos, ainda é esperado uma melhora na transparência do planejamento, e da utilização de máquinas e equipamentos. Por exemplo, o aumento da transparência permite otimizar o tamanho dos lotes. A digitalização e uma maior conectividade no processo, permite que os postos de trabalhos sejam racionalizados, conseqüentemente ganhando uma maior produtividade. A análise inteligente dos dados, bem como sua integração para fins de controle, reduzem a taxa de refugos na produção [72].

Em seu trabalho de pesquisa Jager [67] identifica os principais benefícios esperados da implementação, são eles:

- Individualização digital: como benefício adicional em opções de produtos e serviços que podem ser gerados e oferecidos digitalmente.
- Flexibilidade: Uma resposta mais rápida às flutuações da procura e uma capacidade de produção facilmente adaptável.

- Procura orientada: por exemplo, produtos e serviços podem ser oferecidos e produzidos de acordo com o escopo de uso, além disso a qualidade desejada dos resultados será explicitamente levada em conta.
- Sustentabilidade: Permitindo o custo e a utilização otimizando o planejamento do programa de produção, especialmente nos processos de consumo intensivo de energia.
- Orientação de processo consistente; Melhor conectividade com os processos de negócio relevantes a montante e a jusante do cliente.
- Conhecimento e aprendizagem automatizados: por exemplo, utilização de dados para autoaprendizagem, melhoria contínua na utilização do produto.
- Competências de colaboração: Superação segura de interfaces entre parcerias da cadeia de suprimentos.
- Otimização da produtividade: Produção econômica e montagem de pequenos lotes com conversão em tempo real.

A figura 14 demonstra uma projeção de redução de custos, onde a economia esperada, resulta não apenas de uma melhor eficiência interna, mas também de uma forte integração horizontal. No entanto, segundo relatório da *PWC Chancen und Herausforderungen der vierten industrie* uma redução de custos de 2,6% por ano conforme projetada, só pode ser atingido, se todos os parceiros da cadeia também estiverem engajados no processo [72].

No mesmo relatório [72], conforme demonstrado na figura 15, são esperados também benefícios qualitativos, como um melhor planejamento, maior satisfação dos clientes e uma maior flexibilidade da produção. O comparativo é feito de acordo com a porcentagem de investimento que as indústrias estão dispostas a fazer.

Quanto maior o investimento aplicado (4,5% ou mais de todo investimento realizado na empresa) maiores são os ganhos esperados. Como exemplo, uma empresa que esteja disposta a investir, 1,2% de todo seu investimento na adoção das tecnologias e conceitos da indústria 4.0, terá um retorno de até 6% no que diz respeito a satisfação do cliente. Enquanto se a mesma empresa investir 4,5%, terá então um retorno esperado de 67% no aumento da satisfação do cliente, segundo a projeção da figura 15 [72].

Benefícios quantitativos esperados da aplicação da indústria 4.0
Efeito acumulado em 5 anos (baseado em hoje)

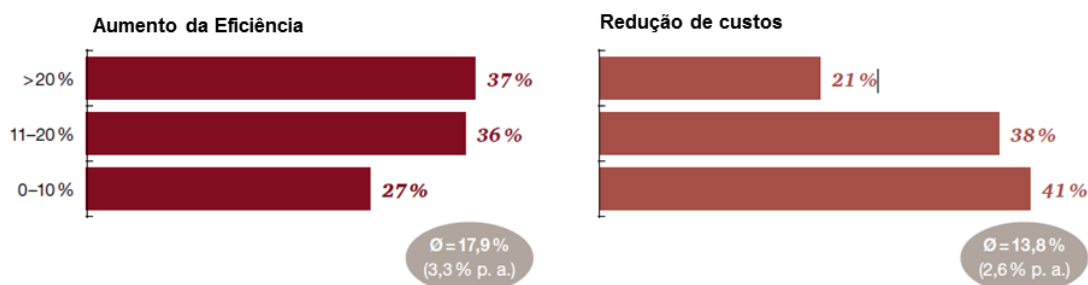


Figura 14: Benefícios quantitativos esperados da aplicação da indústria 4.0 (Fonte: adaptado de [72])

Benefícios Qualitativos das aplicações da Indústria 4,0

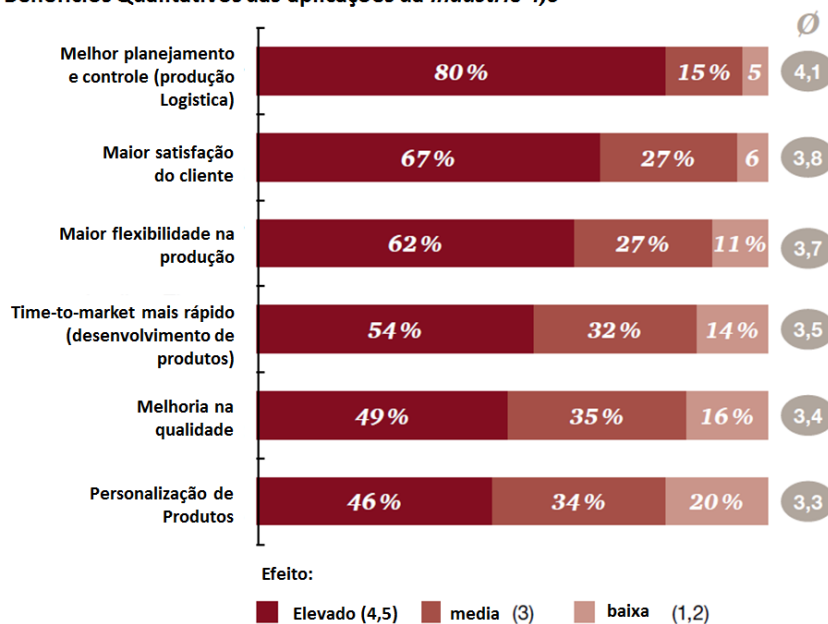


Figura 15: Empresas esperam benefícios extensivos qualitativos da Indústria 4.0 e maior satisfação do cliente (Fonte: adaptado de [72])

3 OBJETIVOS E MÉTODO DE TRABALHO

A proposta da indústria 4.0, exige a introdução de novas tecnologias e conceitos, a fim de que as empresas se mantenham competitivas no futuro. Essa transição deve ocorrer, através de um *roadmap* de implementações, necessitando investimentos de médio e longo prazo. No entanto, uma abordagem abrangente, é necessária para que essa transição ocorra sem problemas [73]. Durante essa transição, é importante que a linha de produção continue produzindo, uma vez que a sobrevivência da empresa depende também da produção.

Os períodos de inatividade são inevitáveis em alguns casos de migração, no entanto, o tempo de inatividade planejado, é menos arriscado e custa menos, em relação ao tempo de inatividade não planejado. Sendo assim, um planejamento estratégico de migração bem realizado, torna-se vital para garantir o sucesso da migração e assim evitar, perda de produção, queda de qualidade, recursos improdutivos entre outros problemas [73].

Em seu trabalho Khan [68] acredita que uma abordagem passo a passo é necessária, primeiro para superar os desafios atuais e segundo, para melhorar a situação atual. Melhorar a situação atual, permite que o ambiente de produção obtenha benefícios rápidos e tornam a produção pronta para cenários futuros, obtendo assim vantagem competitiva, sobre seus concorrentes que não migrarem.

O trabalho desenvolvido por Kagermann et al. [10] e demais autores pesquisados [69, , 72, 75], é abrangente cobrindo diversos aspectos e conceitos da indústria 4.0, no entanto trata-se de um modelo generalista, necessitando ser adaptado para diferentes tipos de indústrias, ou específico para setores industriais como a manufatura de eletrônicos e máquinas. Não foram identificados trabalhos específicos, que trabalhe na migração do setor automotivo, que, como já citado, é

um setor que possui características e complexidades próprias assim como cada setor industrial, desta forma, para avançar neste problema de pesquisa, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos que guiam o presente trabalho.

3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo adaptar um método para migração de uma montadora de veículos automotivos para os requisitos do programa *Industrie 4.0*.

Como objetivos secundários, prover procedimentos que garantam:

- 1) Melhora gradual para empresa
- 2) Adoção e implementação das tecnologias envolvidas no conceito do programa *Industrie 4.0*.

A migração da empresa para todos os requisitos do programa *Industrie 4.0* deve acontecer gradualmente a medida que aconteça uma renovação das tecnologias de manufatura devido a concepção de novos produtos. Considerando o ciclo de vida do produto da empresa em questão, uma montadora de veículos que possui um ciclo de renovação de 4 anos para seus produtos, a total migração não é possível, dentro do tempo proposto para este trabalho. Desta forma, este trabalho pretende prover ferramentas, para que essa migração ocorra gradualmente, implementando processos e tecnologias referentes ao programa *industrie 4.0*

3.2 Objetivos específicos

Para a realização do objetivo geral, este trabalho se divide nos seguintes objetivos específicos:

- Identificar os conceitos e tecnologias referente a Indústria 4.0, bem como metodologias apresentadas para implementação;

- Realizar uma análise dentro de uma empresa do setor automotivo, identificando o atual *status* em que se encontra em relação ao proposto pelo programa *industrie 4.0*;
- Adaptar um método considerando os já existentes, o cenário econômico atual e as condições tecnológicas do setor automotivo;
- Aplicação e validação do método sugerido em uma área específica da empresa;
- Realizar uma análise dos resultados e identificar pontos de melhoria no método proposto;

3.3 Método de trabalho

A fim de alcançar os objetivos aqui propostos, o seguinte método foi estabelecido.

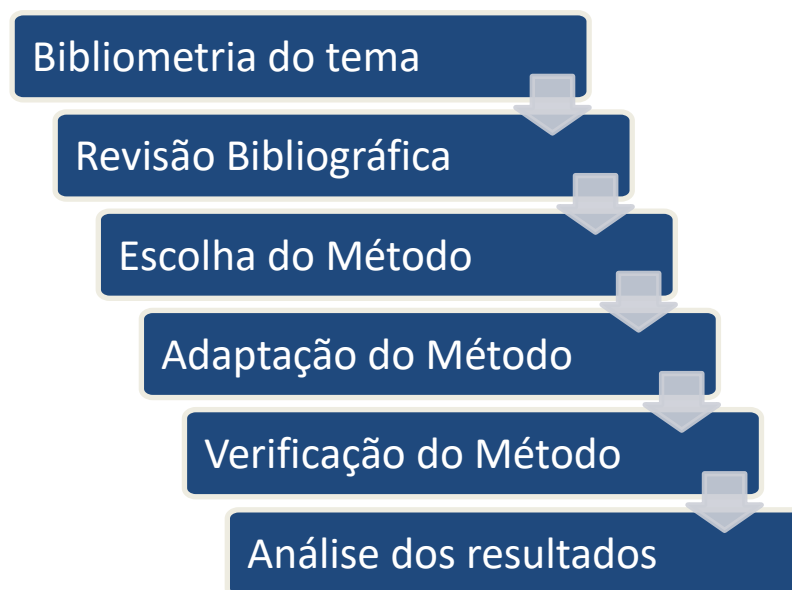


Figura 16 - Metodologia de pesquisa

Para este trabalho, foi realizada uma bibliometria, e análise de produção recente do tema. Este artigo, foi publicado nos Anais do XXIII SIMPEP [75], onde

foram pesquisados artigos, com as palavras chaves específicas, nas principais bases de dados conforme demonstrado na tabelas 2.

Base	Palavras-Chaves	Limitações	Resultado
SCOPUS	"industry 4.0" OR "Industrie 4.0"	-	432
		"ENGI" OR "COMP" OR "BUSI" OR "MATH" OR "DECI" AND "CP" OR "AR"	325
	"Industrial Internet" AND NOT "industry 4.0" AND NOT "Industrie 4.0"	-	141
		"ENGI" OR "COMP" OR "BUSI" OR "MATH" OR "DECI" AND "CP" OR "AR"	114
Web of Science	"industry 4.0" OR "Industrie 4.0"	-	127
		(SELECIONADA TODAS ENGENHARIAS E COMPUTER SCIENCE)Tipos de documento: (PROCEEDINGS PAPER OR ARTICLE)	97
	"Industrial Internet" NOT "industry 4.0" NOT "Industrie 4.0"	-	48
		(SELECIONADA TODAS ENGENHARIAS E COMPUTER SCIENCE)Tipos de documento: (PROCEEDINGS PAPER OR ARTICLE)	37
TOTAL SEM FILTROS			748
TOTAL COM FILTROS			573
TOTAL COM FILTROS SEM DUPLICAÇÃO NAS DUAS BASES			536

Tabela 3: Parâmetros de pesquisa para bibliometria [75]

Concluiu-se que o tema Industria 4.0 vem crescendo rapidamente no número de publicações, demonstrando seu grau de importância tanto para o ambiente acadêmico como para as indústrias, bem como com apenas 3 publicações do Brasil sobre o tema. Foram analisados 536 artigos com 318 autores e coautores. Novos pesquisadores ou pesquisadores antigos que possuem no máximo 2 artigos sobre este tema possuem 285 artigos publicados, representando 89,72% de todos os artigos pesquisados. Sendo assim foram abordados na revisão os principais temas referentes ao contexto do trabalho com objetivo de construir uma base para o desenvolvimento do método de implantação.

Construção do Método: O método aqui proposto, foi elaborado com base na revisão bibliográfica, e de conhecimento empírico pela experiência do autor há 7 anos em uma empresa do setor automotivo, e na implantação de novas tecnologias.

A verificação do método e análise dos resultados será realizada utilizando o procedimento metodológico da pesquisa-ação. FONSECA [76] Apud Silveira, D et al.[77].

“A pesquisa-ação pressupõe uma participação planejada do pesquisador na situação problemática a ser investigada. O processo de pesquisa recorre a uma metodologia sistemática, no sentido de transformar as realidades observadas, a partir da sua compreensão, conhecimento e compromisso para a ação dos elementos envolvidos na pesquisa (p. 34). O objeto da pesquisa-ação é uma situação social situada em conjunto e não um conjunto de variáveis isoladas que se poderiam analisar independentemente do resto. Os dados recolhidos no decurso do trabalho não têm valor significativo em si, interessando enquanto elementos de um processo de mudança social. O investigador abandona o papel de observador em proveito de uma atitude participativa e de uma relação sujeito a sujeito com os outros parceiros. O pesquisador quando participa na ação traz consigo uma série de conhecimentos que serão o substrato para a realização da sua análise reflexiva sobre a realidade e os elementos que a integram. A reflexão sobre a prática implica em modificações no conhecimento do pesquisador (p. 35)” [77].

A conclusão do trabalho é baseada na aplicação do método e em seus resultados, assim como identificando oportunidades de melhoria futura e novas oportunidades de pesquisa.

4 MÉTODO PARA MIGRAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA PARA OS REQUISITOS DO PROGRAMA *INDUSTRIE 4.0*

O método é dividido em quatro fases, onde cada uma possui etapas individuais. Ao avançar de uma fase a outra, não necessariamente a fase anterior necessita cessar sua execução. O método proposto é uma adaptação das melhores práticas encontradas nos métodos pesquisados a saber a abordagem de Khan e Turowski [68] o Guia da VDMA para indústria de máquinas e ferramentas [70] e o *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0* de Kagermann [10].

A adaptação deste método considerou os requisitos específicos para a Indústria automotiva, bem como as recomendações de implementação estabelecidas pelos autores citados.

A lista de requisitos é uma adaptação da caixa de ferramentas do *Leitfaden Industrie 4.0* [70] visando atender as tecnologias necessárias a um ambiente Industrial automotivo, que como já citado possui particularidades específicas. Foi elaborado também uma lista de requisitos, conforme as necessidades humanas do projeto (habilidades necessárias, conhecimentos etc.). Dessa forma o método pretende atingir os aspectos relevantes para que a empresa possa ter os requisitos do programa *Industrie 4.0*.

Os métodos foram classificados utilizando os quesitos abrangência, facilidade de uso e aplicabilidade segundo o entendimento do autor, conforme a tabela 4 e avaliados com notas de 1 á 3 considerando os quesitos já citados.

- 1) **Abrangência:** Tipos de empresas para qual o método foi desenvolvido sendo 1 mais generalista e 3 mais específica.
- 2) **Facilidade de uso:** Neste quesito foram avaliados a facilidade de se utilizar o método devido a quantidade de informações disponíveis bem como ferramentas para aplicação sendo 1 com maior grau de dificuldade e 3 com menor grau de dificuldade de aplicação.
- 3) **Aplicabilidade:** Leva em consideração a aplicação prática do método sendo 1 pouco prática e 3 muito prática.

Método	Abrangência	Facilidade de utilização	Aplicabilidade
Khan e Turowski [68]	2	1	2
Guia da Indústria – VDMA [70]	3	2	3
<i>Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0</i> de Kagermann et al [10]	1	3	1

Tabela 4 - Classificação dos Métodos Fonte: Elaborado pelo autor

Ao método de Khan e Turowski [69] foi atribuída a nota 2 no quesito abrangência, pois as características do método, demonstram que ele não é inteiramente generalista, mas não possui um foco em um tipo de indústria específico, ficando assim no meio termo. Foi atribuída a nota 1 no quesito facilidade de utilização devido a quantidade de informações disponíveis referente ao método. Para este trabalho foi encontrado 1 único artigo falando sobre o método, sem possuir detalhamento da aplicação, sem testes e sem validações. No entanto a forma como é descrito, demonstra uma praticidade em sua aplicação, pois segue características semelhantes a concepção de projetos como já é realizada atualmente.

O Guia da Indústria – VDMA [71], recebeu nota 3 no quesito abrangência, pois o mesmo, é focado especificamente para a indústria de máquinas ferramentas

da Alemanha. No quesito facilidade de utilização, este método apresenta recebeu nota 2, pois apesar de possuir informações detalhadas sobre o método, a utilização exige uma grande mobilização da empresa, para que o método tenha sucesso. Quanto a sua aplicabilidade, foi o que recebeu a maior nota (3), pois disponibiliza ferramentas, e aplicações práticas do método, demonstrado em exemplos dentro de empresas reais.

Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 de Kagermann et al [10] é o método, que possui maior quantidade de informações disponíveis, especificando as tecnologias e ações que necessitam ser levadas em consideração, recebendo assim nota 3 no quesito facilidade de utilização. No entanto, o método é pouco prático recebendo nota 1 em aplicabilidade, pois não possui um passo a passo desenhado, nem instruções de como executar as ações descritas nos conceitos apresentados no método. O método pode ser utilizado para qualquer tipo de indústria, tornando-o generalista e portanto recebendo classificação 1 no quesito abrangência.

O método proposto por esse trabalho leva em consideração a abrangência, visto que será aplicado em uma montadora de veículos, mas poderá ser utilizado também em outras empresas do setor automotivo. Leva em consideração também a facilidade de utilização do mesmo, com informações sobre as tecnologias e os desafios que estão presentes na adoção dos requisitos do programa *industrie 4.0*.

A aplicabilidade também foi levada em consideração, de modo a ser possível verificar os resultados da aplicação do método.

O método aqui proposto é dividido em 4 fases: Conhecimento, Internalização, Ação, Retroalimentação, e também por etapas específicas para cada fase, tomando como base o método de aplicação do guia da VDMA [71]. A aplicação do método,

acontece em sua maior parte, por meio de reuniões, com participantes representantes de todas as áreas interessadas da empresa.

Assim como os demais métodos, a aplicação depende de um alto grau de comprometimento da empresa, e principalmente da alta administração. É importante a definição de um líder, que conduzirá as ações de implementação recomendadas, de preferência de uma área da empresa que possua influencia na definição de processos, e aquisição de tecnologia, uma vez que a maior parte dos requisitos está relacionado a este ponto.

No entanto, esse método não pode ser considerado um método generalista. Suas fases e etapas levam em consideração o modelo de negócios de uma montadora, onde são considerados: o tempo de desenvolvimento de seus produtos, a forma como acontece a renovação de processos, bem como respeitando a estrutura organizacional estabelecida na empresa.

A implementação dos requisitos, acontece de forma gradual. na utilização do método, de acordo com a renovação dos processos, e novos investimentos em produtos. Esse método é cíclico, de maneira que ao finalizar a última fase retorna-se a Fase I, para implementação em uma nova área, ou novo processo, não limitando a possibilidade de várias fases acontecerem ao mesmo tempo.

O método conforme proposto é mostrado na figura 17.

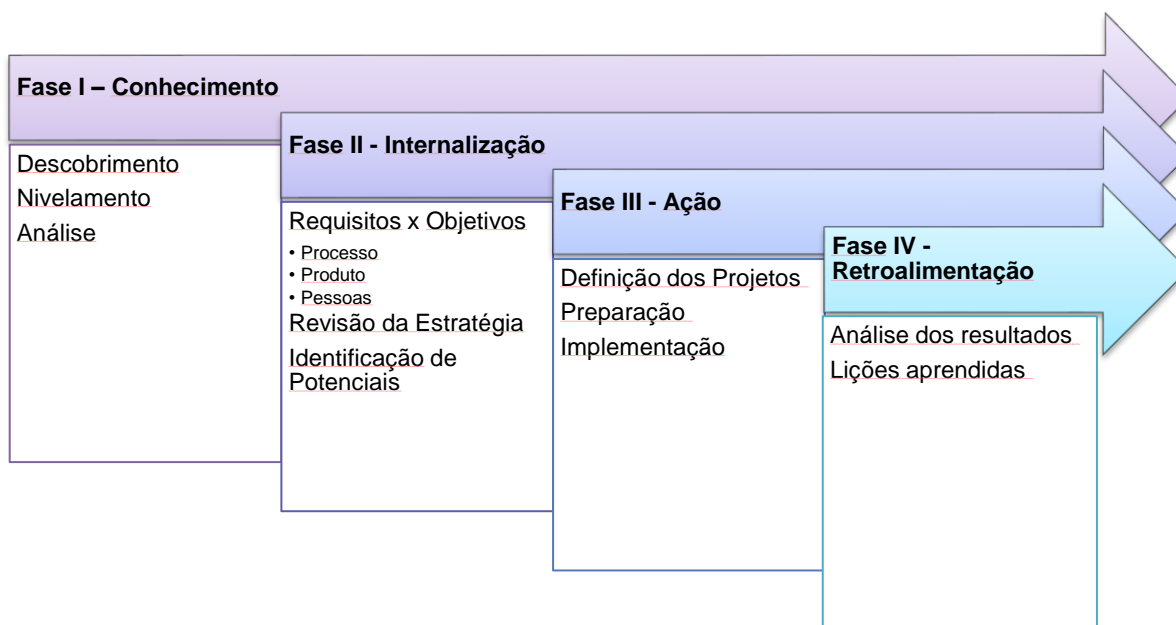


Figura 17 - Estrutura Conceitual do Método

Nos parágrafos seguintes serão detalhadas cada uma das fases e etapas individuais das mesmas.

4.1 FASE I – CONHECIMENTO

A primeira parte do processo de implantação está relacionada com o conhecimento do tema indústria 4.0. Qualquer projeto que se pretenda implementar utiliza-se a experiência de empresas ou pessoas que já tenham participado de processos semelhantes. No entanto, ao se falar de Indústria 4.0 o tema é uma novidade em quase todos os aspectos. Assim como no guia da Indústria da VDMA [71] e também nas recomendações de Kagermann [10] o conhecimento do tema apoiará o desenvolvimento novas ideias relativas ao tema, bem como na identificação de potenciais melhorias. Desta forma, se faz necessário

que a empresa que pretende adotar os requisitos do programa *Industrie 4.0*, busque conhecimento em todas as fontes disponíveis.

4.1.1 Etapa I – Descobrimeto

O Objetivo dessa etapa, é que a empresa comece a pesquisar sobre o tema nas mais variadas fontes (casos de sucesso, recomendações, literatura acadêmica e industrial). As áreas ligadas a cadeia de produção devem estar diretamente envolvidas. Mas se faz necessário também, que haja participantes, de todas as áreas da empresa (desenvolvimento de produto, manufatura, operações, marketing, compras, recursos humanos, etc.). No primeiro momento é possível focar em grupos ou pessoas específicas que concentram a maior parte do conhecimento sobre o assunto, com o objetivo futuro de disseminar internamente.

Para o cumprimento dessa etapa, os seguintes passos são propostos.

- a) Selecionar os profissionais que farão parte do projeto.
- b) Reunir material de diferentes bases de conhecimento, sendo elas:
 1. Cases de sucesso da Industria (portais e associações)
 2. Conhecimento acadêmico (parceria com universidades, base de dados acadêmicas)
 3. Troca de conhecimento entre profissionais que tenham o mesmo objetivo (palestras, fóruns, participação em eventos do tema.)
- c) Armazenar o material em local comum (servidores corporativos, biblioteca local).

4.1.2 Etapa II – Nivelamento ou Compartilhamento

A segunda etapa se propõe a efetivamente disseminar o conhecimento em todas as áreas envolvidas e todos os níveis hierárquicos da empresa. É importante

que todos os funcionários estejam engajados, uma vez que a aplicação de diversos conceitos, reflete também em uma mudança da cultura organizacional.

Para o cumprimento da etapa II, os seguintes passos são propostos:

- a. Promover discussões internas sobre o tema com reuniões e palestras.
- b. Elaboração de material informativo, e divulgação nos meios de comunicação da empresa (e-mails informativos, intranet, painéis de comunicação).
- c. Criação de área comum para produção e disseminação de conhecimento (base de conhecimento interno na Intranet).

4.1.3 Etapa III – Análise

Uma vez que o conhecimento está compartilhado, é necessário que todos olhem com uma visão crítica para suas respectivas áreas, identificando como os processos, produtos e pessoas, estão em relação aos conceitos aprendidos e as tecnologias disponíveis. Nessa etapa, já é possível realizar uma avaliação prévia da necessidade de requalificação da mão-de-obra. Dessa forma a cada área da empresa, é capaz de reconhecer internamente, como a implantação desses conceitos e tecnologias afetarão a estrutura da empresa.

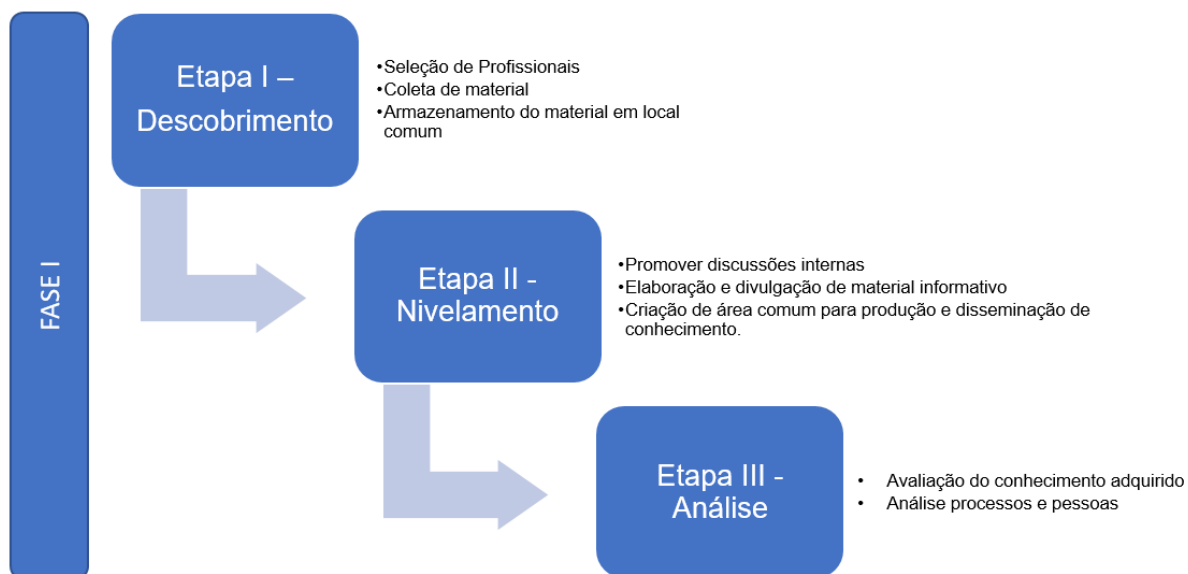


Figura 18: Resumo Etapa I Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 FASE II – INTERNALIZAÇÃO

Existem diferentes tipos de riscos envolvidos na execução de projetos, como riscos do negócio, riscos técnicos, riscos relacionados a recursos entre outros. Um dos riscos mais comum está relacionado ao engajamento das pessoas envolvidas. Conquistar a confiança das pessoas e motivá-las a participar dos projetos é um dos fatores de sucesso na execução dos projetos. A transformação da mentalidade das pessoas que trabalham na organização também é um desafio para os projetos referentes a indústria 4.0.

A fase de internalização tem por objetivo deixar claro o envolvimento da empresa na migração, norteando assim as ações das próximas fases.

4.2.1 Etapa I – Definição de objetivos

A definição dos objetivos a serem alcançados na migração deve ser clara e precisa, por isso é importante que a empresa tenha atingido um alto grau de

satisfação nas etapas da FASE I, o que pode ser verificado, avaliando os materiais, palestras, reuniões e etc, sobre o entendimento do tema.

A definição dos objetivos está relacionada com os requisitos identificados na caixa de ferramentas. Esses objetivos, devem ser definidos no que se refere ao desenvolvimento de produtos e processos, conforme a caixa de ferramentas de produto e processo nas figuras 19 e 20.

Para este método, foi adaptado a caixa de ferramentas do guia da VDMA [71], de acordo com o perfil da empresa, no caso uma montadora de veículos. Para a caixa de ferramentas referente ao produto (figura 19), foram considerados tecnologias, que tem envolvimento direto no produto veículo, como o combustível, onde a adoção de novos tipos de combustíveis, é considerado uma evolução natural no desenvolvimento de veículos futuros.

Nesta caixa de ferramentas, foram alteradas as colunas de estágio de desenvolvimento, evidenciando como determinada camada de aplicação se relaciona ao produto veículo. O primeiro estágio das classes de desempenho foi eliminado da tabela, uma vez que falando especificamente de um veículo, todos estão ao menos no segundo estágio há muitos anos. Por exemplo, todos os veículos hoje, possuem sensores e atuadores integrados, envia e recebe sinais I/O, possui uma identificação única, possuem detecção de falhas, e o ganho das empresas não é somente na venda de produtos, mas também nos serviços oferecidos sobre o mesmo.

Na caixa de ferramentas, relacionada a produção (figura 20), todas as camadas de aplicação e classes de desempenho foram mantidas intactas, pois todas possuem relação com a manufatura de veículos.

A interpretação da caixa de ferramentas, ocorre da seguinte maneira: as camadas de aplicações, representam conceitos e tecnologias utilizados no desenvolvimento de produtos, e nos processos. As classes de desempenho, representam o estágio de desenvolvimento desses conceitos e tecnologias, no que tange a indústria 4.0. Quanto mais próximo das últimas classes de desempenho, mais próximo de ser considerada uma indústria 4.0. No entanto, a migração de uma classe de desempenho para outra, representa os degraus que são necessários até que a empresa seja considerada dentro dos requisitos da indústria 4.0.

A transição de uma classe de desempenho para outra, são os projetos que serão estabelecidos para alcançar um nível mais próximo na adoção dos requisitos do programa *indústria 4.0*. Por exemplo, uma empresa pode adotar o requisito do desenvolvimento de um produto autônomo, da camada de integração de sensores e atuadores. Nesse caso o requisito de um produto autônomo torna-se um dos objetivos a se alcançar pela empresa e transformado em projeto. Vale ressaltar que a caixa de ferramentas fornece uma base, referente aos conceitos, tecnologias e modelos de negócio da indústria 4.0, e não representam os requisitos em sua totalidade.

Dessa forma, para o cumprimento da etapa I é necessário:

- a. Análise dos requisitos
- b. Definição de objetivos com base na caixa de ferramentas
- c. Lista de objetivos

Caixa de Ferramentas Industrie 4.0




Industrie 4.0

		Produto			
Camadas de Aplicação	Integração de Sensores e Atuadores				
		Sensores/atuadores estão incorporados/integrados	Dados dos sensores são processados pelo carro	Dados são avaliados/interpretados pelo carro para análise	O carro reage automaticamente com base nos dados obtidos
	Comunicação / Conectividade				
		Rede CAN	Protocolo de comunicação OBD/OBD2 via cabo	Protocolos de comunicação via bluetooth ou wifi via OBD/OBD2	Acesso à internet sendo possível acessar informações remotamente
	Funcionalidades para armazenamento e troca de informações				
		Capacidade para identificação única	O produto dispõe de armazenamento de dados passivo	Carro com armazenamento de dados para troca autônoma de informações	Troca de dados e informações como parte integrante
	Monitoramento				
		Deteção de falhas	Registro de condição operacional para diagnósticos	Prognóstico da própria capacidade operacional	Decisões autônomas para controle
	Combustível				
		Combustíveis Fósseis	Veículos híbridos Fossil / Elétrico Renovável	Veículos Elétricos autônimos	Veículos movidos a energia solar, autônomo, alcance indeterminado
Modelos de Negócios sobre o produto					
	Venda e consultoria sobre o produto	Venda, consultoria e adaptações de produtos às necessidades dos clientes	Venda adicional de serviços relacionados ao produto	Venda de funções do produto	
		Classes de Desempenho			

Figura 19 - Matriz de Requisitos Produto Carro - Fonte: Adaptado de [70]

Caixa de Ferramentas Industrie 4.0



Industrie 4.0







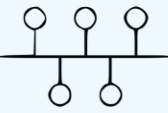





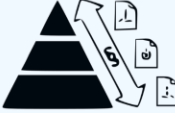






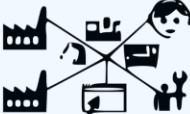










Produção						
Camadas de Aplicação	Processamento de Dados na Produção					
		Nenhum processamento de dados	Armazenamento de dados para documentação	Análise dos dados para monitoramento dos processos	Avaliação dos dados para planejamento e controle do processo	Processo automatizado de planejamento e controle do processo
	Comunicação Máquina - Máquina (M2M)					
		Nenhuma comunicação	interface Fieldbus	interface para ethernet industrial	Máquinas dispoê de acesso a internet	Serviços Web (Software M2M)
	Conectividade corporativa com a produção					
		Nenhuma conexão da produção com a rede corporativa	Troca de informações via e-mail/ telefone	Formato de dados e regras para a troca de dados padronizados	Formato de dados padronizados e Servidor de dados em rede	Soluções em TI em rede inter-departamental
Infraestrutura de TIC na Produção						
	Troca de informações via e-mail/ telefone	Servidor de dados central na produção	Portal com interface web com compartilhamento de dados	Troca de informações automatizadas Ex: Acompanhamento de pedidos	Fornecedores/ clientes estão plenamente integrados em toda cadeia do processo	
Interface homem-máquina						
	Não há troca de informações entre homem e máquina	Uso de dispositivos locais para visualização de dados	Monitoramento e controle da produção centralizado/descen-tralizado	Uso de dispositivos móveis	Realidade aumentada e assistida	
Eficiência para pequenos lotes de produção						
	Meios de Produção rígidos e baixa proporção de peças idênticas	Uso de meios de produção flexíveis e peças idênticas	Meios de produção flexíveis e construção modular de produtos	Produção flexível de produtos modulares dentro da empresa conduzida pelo componente	Produção modular em rede de valor, conduzida pelo componente	
Classes de Desempenho						

Figura 20 – Caixa de ferramentas - Processo (Fonte: adaptado de [70])

4.2.2 Etapa II – Revisão da estratégia corporativa

A etapa de revisão da estratégia, tem por finalidade incorporar os objetivos definidos na etapa I, a estratégia da empresa. A realização dessa fase, demonstra o engajamento dos envolvidos, em todos os níveis da empresa. A empresa deve agora transformar os objetivos identificados como parte de sua estratégia, definindo uma métrica para avaliar o quão próximo está de cumprir suas metas.

Para o cumprimento da etapa II é necessário:

- a. Revisão da estratégia da empresa
- b. Definição de métricas de avaliação de alcance das metas

4.2.3 Etapa III – Identificação de potenciais

Nesta etapa já deve existir um engajamento interno para alcançar os objetivos propostos e cumprir as metas estabelecidas. Nesse ponto é feita uma reavaliação de toda estrutura de processo, produto, pessoas, buscando identificar quais áreas ou processos, necessitam o menor esforço para atingir os requisitos necessários. Essa avaliação se dá, pelo esforço tanto em movimentação interna, quanto a necessidade de investimentos ou a realização de grandes projetos. Uma vez identificadas essas áreas, as mesmas são catalogadas e é definido um plano de ação para migração.

Para o cumprimento da etapa III é necessário:

- a. Identificação das áreas com menor esforço de transformação
- b. Plano de ação para migração das áreas

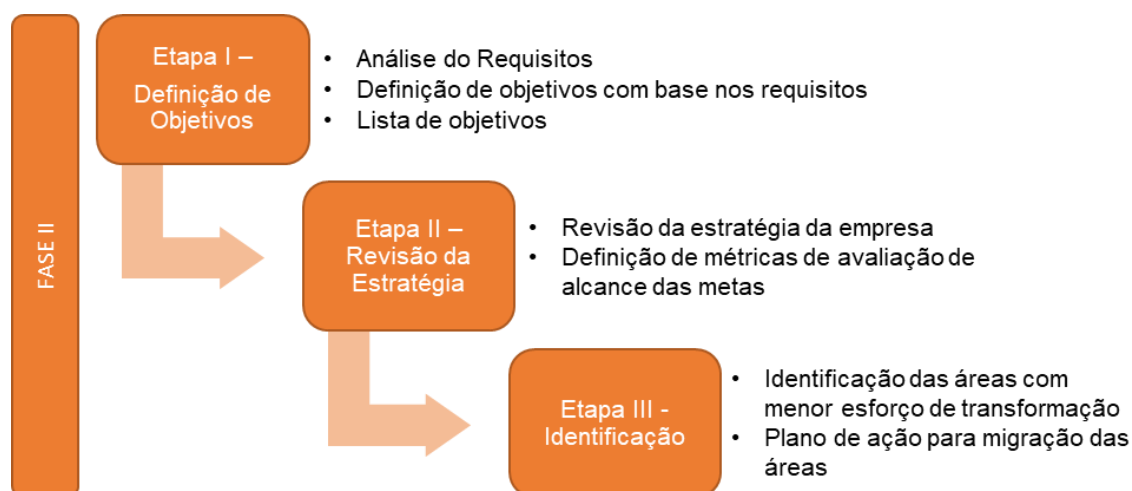


Figura 21: Resumo da Fase II - Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 FASE III – AÇÃO

Nesta fase efetivamente são realizadas as ações de migração para as áreas previamente identificadas. Essa fase é composta das etapas de definição dos projetos, preparação e implantação.

Uma lição chave identificada em outras metodologias de implantação, é que, as empresas permitam infraestruturas de TI com interfaces abertas, flexíveis e seguras para os sistemas desenvolvidos. Uma vez que a maioria das tecnologias está relacionada diretamente com essa área em particular. Essas interfaces permitirão que vários dispositivos, pessoas e organizações se conectem, colaborem, compartilhem e troquem serviços em tempo real [71].

4.3.1 Etapa I – Definição dos projetos

Nessa etapa, todo trabalho de estruturação do projeto deve ser realizado, uma vez que já se sabe qual objetivo alcançar, já existem pessoas engajadas no processo, e as áreas potenciais já foram estabelecidas.

Todo o processo de definição de projetos, deve ocorrer conforme as normas internas da empresa para projetos, ou seguir metodologias de projetos como o

PMBOK. Nesta fase devem ser definidos, Escopo do projeto, situação atual, requisitos legais e contratuais para execução, definição dos recursos, tempo de projeto e cronogramas, riscos envolvidos no projeto, custos e orçamento, quando necessário, também são definidos indicadores, para controlar cada uma das áreas referentes ao gerenciamento do projeto.

4.3.2 Etapa II – Preparação

A fase de preparação, tem o objetivo de verificar toda e qualquer pendência referente a execução do projeto, bem como procedimentos internos da empresa, iniciação de processos de compras, contratos, realocamento de recursos, capacitação de pessoal, essa etapa é importante pois também é um dos fatores de sucesso na implementação do projeto. As equipes envolvidas, assim como o líder do projeto, devem utilizar essa fase para certificar-se que todo planejamento está construído corretamente.

4.3.3 Etapa III – Implantação

Essa etapa tem por objetivo colocar em prática o plano de migração estabelecido na etapa anterior e agora transformados em projetos. Os responsáveis pela coordenação dos projetos devem acompanhar a implantação observando sempre os indicadores definidos, e tomando o cuidado de coletar os resultados obtidos com a adoção do requisito desejado.

Para conclusão dessa fase é necessário:

- a. Definição dos Projetos em toda a sua extensão;
- b. Verificar todas as pendências antes de iniciar o projeto;
- c. Realizar as ações de migração para as áreas previamente identificadas;
- d. Realizar acompanhamento dos indicadores;

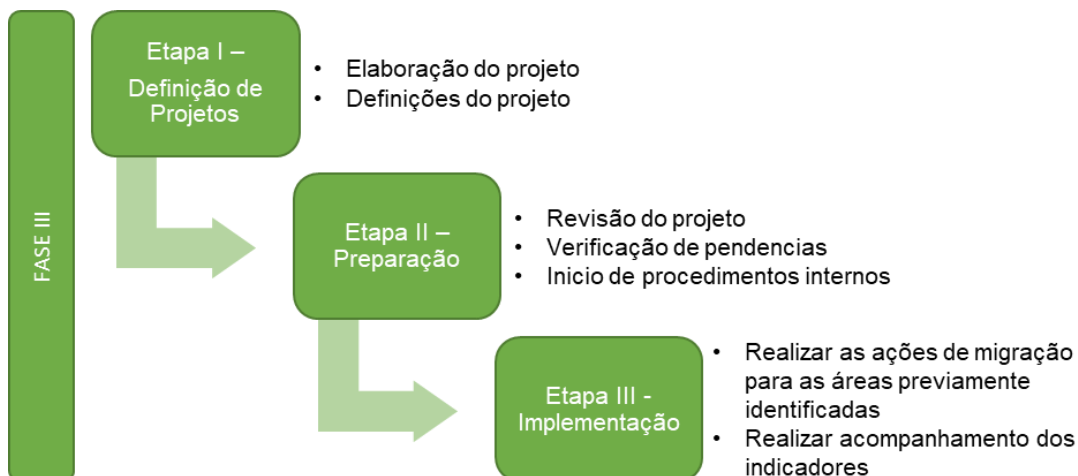


Figura 22 - Resumo da Fase III - Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 FASE IV - RETROALIMENTAÇÃO

A fase de retroalimentação é a fase final do método. Como o método é cíclico, a última fase é uma preparação para voltar ao início do mesmo. A fase IV é composta por 2 etapas descritas a seguir:

4.4.1 Etapa I – Análise dos resultados

Nessa etapa são coletados os resultados da fase III e realizada uma comparação com o antes e depois. O objetivo é avaliar ganhos de qualidade, produtividade ou econômicos. Essa etapa é de fundamental importância, pois a análise dos resultados, é o pilar que sustenta a adoção de novos requisitos. Quando uma ação traz um resultado benéfico a empresa, existe uma pré-disposição para executar novas ações que podem trazer ganhos ainda maiores.

Para conclusão dessa etapa é necessário:

- a. Coletar os resultados obtidos
- b. Comparar e quantificar os resultados
- c. Registrar os resultados para posterior utilização

4.4.2 Etapa II – Lições Aprendidas

A etapa II tem o objetivo de criar um histórico com as melhores práticas, durante o processo de adoção de um novo requisito. É sabido que na adoção de uma nova tecnologia, principalmente quando a mesma é desconhecida, muitos erros são cometidos. O registro das falhas é importante para análises posteriores, assim como para otimizar a implantação de novos requisitos quando executada a fase III em um novo ciclo.

Para conclusão dessa etapa é necessário:

- a. Registro das dificuldades e boas práticas encontradas na implantação da fase III.

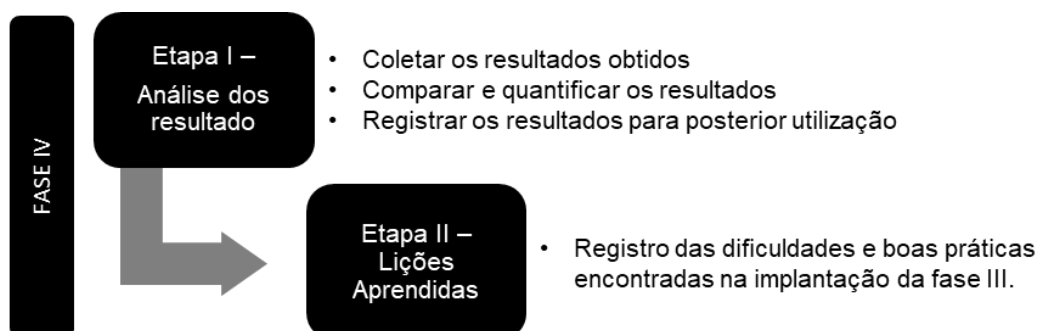


Figura 23 - Resumo da Fase IV – Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez finalizada a etapa II o ciclo está completo. Quando já se possui um grau de conhecimento satisfatório obtido durante a fase I o método pode continuar a ser executado a partir da fase II. Na fase 2 ocorre novamente as etapas de definição de novos requisitos a se adotar, bem como uma nova revisão da estratégia, dando sequência as próximas fases.

5 VERIFICAÇÃO

Nesse capítulo será apresentada a aplicação do método proposto com o intuito de testa-lo por meio de um estudo de caso em uma empresa do setor automotivo.

A aplicação do método proposto, se deu em uma montadora de veículos. Uma empresa de grande porte multinacional. Essa empresa está diretamente relacionada ao desenvolvimento dos conceitos da Indústria 4.0 na Alemanha, no entanto as plantas da América do Sul, possuem autonomia para definirem suas próprias estratégias e projetos nesta direção.

5.1 Aplicação Fase I - Conhecimento

A verificação teve início no segundo semestre de 2015. Com a grande repercussão do tema indústria 4.0, o departamento de Fabrica Digital, responsável também pela avaliação de novas tecnologias, tomou conhecimento sobre o tema através da constante participação em fóruns e palestras, o que levou os responsáveis a iniciar a pesquisa sobre o assunto. Alguns responsáveis foram escolhidos com objetivo de se aprofundarem no tema para posteriormente replicar o conhecimento. Entre as ações da fase I, surgiu a oportunidade de desenvolver este trabalho, aproveitando o conhecimento obtido, e desenvolvendo o método que teria sua aplicação na empresa em questão.

A fase I do método consiste principalmente da escolha dos responsáveis, coleta de material, e disponibilização dos materiais coletados em uma área comum. Seguindo estes preceitos foram coletados diversos materiais dos mais diversos meios de comunicação, artigos de jornais, revistas, periódicos acadêmicos, apresentações de empresas parceiras e fornecedores, materiais de fóruns e

eventos relacionados ao tema, o mesmo encontra-se disponível no servidor corporativo da área de Engenharia de manufatura.

5.1.1 Aplicação da Fase I – Etapas II e III

As etapas II e III da fase I do método propõe a disseminação, o nivelamento das informações e uma análise dos resultados. Reuniões periódicas dos grupos de desenvolvimento no tema no Brasil iniciaram nesta fase ocorrendo regularmente nas instalações da empresa com representantes de diversas indústrias. A participação em eventos e palestras sobre o tema se tornaram frequentes conforme figura 25. Os resultados desses eventos se converteram em possíveis ações de desenvolvimento além da disseminação do conhecimento pela empresa, conforme figura 26. Foram criados informativos internos, bem como reportagens sobre o tema publicadas na mídia interna da empresa, como jornais e e-mails de comunicação interna, conforme mostrado na figura 24.



Figura 24 - Aplicação da Fase II - Disseminação de conhecimento

Road Map – Eventos e Ações Indústria 4.0 VW do Brasil – 2016



Figura 25 - Aplicação da Fase II – Agenda de eventos e palestras 2016

Evento	Resultado
Workshop Automotive Business	Disseminação de Conhecimento
FEIMEC - VI Simpósio Internacional de Excelência em Produção	Disseminação de Conhecimento
CNI / IEL - Workshop: Manufatura Avançada	Suporte à organização do Curso "Gestão da Cadeia de Suprimentos na Indústria 4.0"
31ª Feira da Mecânica	Disseminação de Conhecimento
Palestra Faculdade Mauá	Disseminação de Conhecimento Desenvolvimento de parceria desenvolvimento de simulações virtuais na VWB
Simpósio SAE Brasil de Manufatura	Disseminação de Conhecimento Conexão com a Empresa Unity-Consulting especializada em Inovação e Transformação nas indústrias com suporte à Indústria 4.0
Semana de Engenharia do Mackenzie	Disseminação de Conhecimento Elaboração de grade curricular para curso de 32 horas sobre Indústria 4.0
UNIMEP - 21o Seminário Internacional de Alta Tecnologia	Disseminação de Conhecimento Parceria no desenvolvimento de Fábrica Digital na VWB

Figura 26 - Aplicação da Fase II – Resultados dos eventos e palestras 2016

5.2 Aplicação da Fase II - Internalização

A fase II pressupõe a utilização da caixa de ferramentas para auxiliar na definição dos objetivos a serem atingidos na I etapa, e assim utilizar os novos objetivos definidos como base para o ajuste da estratégia da empresa.

O primeiro passo foi identificar qual o estado atual dos processos da empresa relativos a caixa de ferramentas da produção e do produto:

Identificação do estado atual na caixa de ferramentas – Produção conforme figura 27:

Aplicação	Situação atual
Processamento de dados na produção	Análise dos dados para monitoramento dos processos
Comunicação Máquina-Máquina (M2M)	Interface para Ethernet industrial
Conectividade corporativa com a produção	Formato de dados e regras para a troca de dados padronizados
Infraestrutura de TIC na produção	Servidor de dados central na produção
Interface Homem-Máquina	Monitoramento e controle da produção centralizado/descentralizado
Eficiência para pequenos lotes de produção	Uso de meios de produção flexíveis e peças idênticas

Tabela 5 - Estado atual da empresa

A tabela 5 mostra um resumo do estágio atual da empresa, dentro das camadas de aplicações disponíveis na caixa de ferramentas. Com base no conhecimento da empresa foi identificado a atual classe de desempenho em que a empresa se encontra relativo a cada uma das camadas de aplicações. Atualmente a Volkswagen do Brasil, dispõe de tecnologias para monitoramento da produção e análise dos dados. Possui uma rede industrial interna com o protocolo profibus, que permite a comunicação entre os diversos equipamentos das plantas. Servidores de dados para as informações de produção e o monitoramento e controle da produção já são realidade em todas as plantas e processos.

Recentemente foi implementado o conceito de plataforma modular, que viabiliza uma maior flexibilidade das linhas de produção. Diversos componentes dos veículos, são os mesmo em todos os modelos, além do que existe uma flexibilidade para produção de veículos com características especiais, sejam de eventos ou pedidos do cliente.

Identificação do estado atual na caixa de ferramentas – Produto conforme figura 28:

Aplicação	Situação atual
Integração de Sensores / Atuadores	Dados dos sensores são processados pelo carro
Comunicação / Conectividade	Protocolos de comunicação via Bluetooth ou Wi-Fi via OBD/OBD2
Funcionalidades para armazenamento e troca de informação	Capacidade para identificação única
Monitoramento	Registro da condição operacional para diagnóstico
Combustível	Veículos híbridos Fóssil/ Elétrico Renovável
Modelo de negócios sobre o produto	Venda, consultoria e adaptações de produtos às necessidades dos clientes

Tabela 6 - Estado atual da empresa – Produto

A tabela 6 mostra o resumo do resultado, da avaliação feita com a caixa de ferramentas de produto (figura 28), do estado atual da empresa no que se refere aos seus produtos. O veículo possui diversos sensores que enviam informações para as *ECU (Engine Control unit)* do veículo. A comunicação com os módulos do carro ocorre por meio de interface OBD/OBD2. Todo veículo, já sai da fábrica com uma identificação única, que permite ser reconhecido e identificado, em qualquer estágio da vida útil do produto. Atualmente, em outras plantas, já são produzidos veículos híbridos e alguns até importados para o Brasil como é o caso do modelo Golf GTE. A empresa fornece ainda, serviços de consultoria e adaptação dos seus produtos por meio de seus concessionários.

Caixa de Ferramentas Industrie 4.0

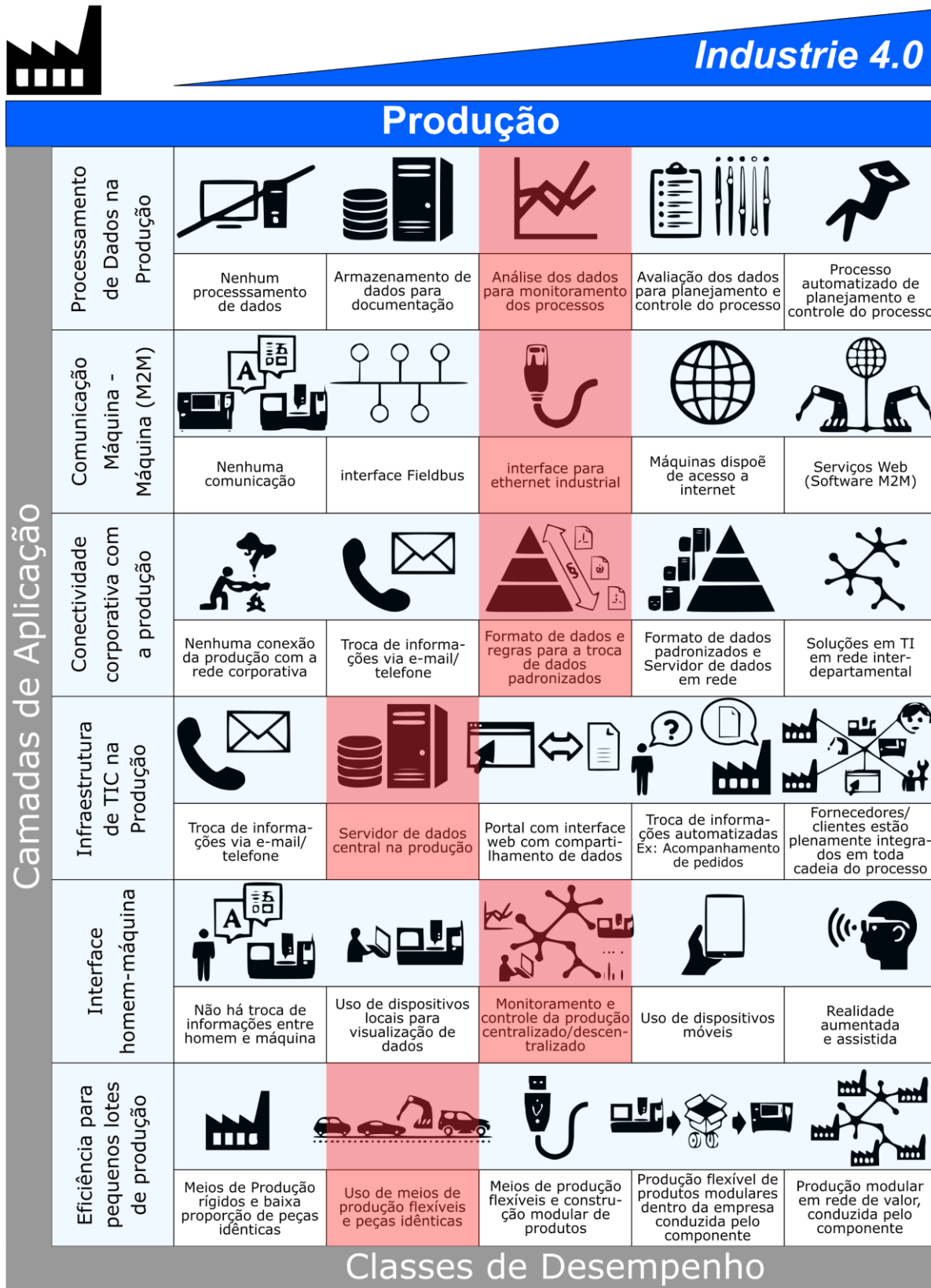


Figura 27 - Identificação do estado atual na caixa de ferramentas produção

Caixa de Ferramentas Industrie 4.0



Industrie 4.0

Produto					
Camadas de Aplicação	Integração de Sensores e Atuadores	Sensores/atuadores estão incorporados/integrados	Dados dos sensores são processados pelo carro	Dados são avaliados/interpretados pelo carro para análise	O carro reage automaticamente com base nos dados obtidos
	Comunicação / Conectividade	I/O	Rede CAN	Protocolos de comunicação OBD/OBD2 via cabo	Acesso à internet sendo possível acessar informações remotamente
		Funcionalidades para armazenamento e troca de informações	Capacidade para identificação única	O produto dispõe de armazenamento de dados passivo	Carro com armazenamento de dados para troca autônoma de informações
	Monitoramento	Detecção de falhas	Registro de condição operacional para diagnósticos	Prognóstico da própria capacidade operacional	Decisões autônomas para controle
		Combustível	Combustíveis Fósseis	Veículos híbridos Fóssil / Elétrico Renovável	Veículos Elétricos autônomo
	Modelos de Negócios sobre o produto	Venda e consultoria sobre o produto	Venda, consultoria e adaptações de produtos às necessidades dos clientes	Venda adicional de serviços relacionados ao produto	Venda de funções do produto
Classes de Desempenho					

Figura 28 - Estado atual na caixa de ferramentas produtos

Uma vez identificado o estado atual da empresa, foram definidos objetivos dentro de algumas camadas de aplicação.

Produção:

Camada de aplicação	Objetivos
Processamento de Dados na produção	Avaliação de dados para planejamento e controle do processo
Infraestrutura de TIC na produção	Troca de autônoma de informações
Interface Homem-Máquina	Uso de dispositivos móveis

Figura 29 - Definição de objetivos - Produção

Produto:

Camada de aplicação	Objetivos
Funcionalidades para armazenamento e troca de informação	Carro com armazenamento de dados para troca autônomas de informação
Modelos de negócios sobre o produto	Venda adicional de serviços relacionados ao produto

Figura 30 - Definição de objetivos – Produto

As análises dos requisitos, bem como a definição dos objetivos, foram selecionadas com base nas estratégias globais de crescimento da marca. Assim como as necessidades locais de produção, essa definição se deu no alto nível da cadeia de comando pelo conselho de decisão da empresa. Partindo desses objetivos, foi redefinida a estratégia da empresa para os próximos anos com o propósito de atingir os objetivos especificados.

Entre as alterações realizadas na estratégia um dos pontos modificados, é: Maximizar os benefícios da Indústria 4.0.

A modificação na estratégia traz consigo a definição de responsáveis, que por consequência definem ações para o alcance das metas estabelecidas. Essas ações são concretizadas em áreas, que possuem maior possibilidade de aplicação com menor custo de investimento.

5.3 Aplicação da Fase III - Ação

Na aplicação da Fase III etapa I, foi definido o projeto de implementação da tecnologia *pick to light* para a estação de aplicação de etiquetas do tanque de gasolina integrada ao softwares de monitoramento e gerenciamento da produção. Os detalhes do projeto não serão divulgados nesse trabalho a pedido da empresa. Foram realizadas todas as verificações recomendadas na etapa II para assim prosseguir para etapa III a implantação do projeto.

Relato do caso: Anteriormente a aplicação era feita pelo operador que possuía 15 modelos diferentes de etiquetas para selecionar e aplicar de acordo com o modelo do veículo. Quando um novo veículo chegava ao *tacto* de aplicação, o operador consultava em sua documentação qual modelo era o veículo, e qual etiqueta deveria ser aplicada para aquela variação, o operador então selecionava a etiqueta correta e aplicava no veículo.

A nova solução consiste na utilização de um sistema inteligente para seleção automática da etiqueta correta. O sistema reconhece automaticamente a *tag* de identificação do veículo via rádio frequência, indicando qual modelo e especificações possui. O sistema então envia a informação para as prateleiras que contém as etiquetas para aplicação, a gaveta que possui a etiqueta correta acende uma luz indicadora. O operador pega a etiqueta correta e aplica no veículo. Caso o operador coloque a mão em uma gaveta errada, o sistema emite um alerta informando que o operador está selecionando a etiqueta errada.

A implantação do sistema de seleção inteligente ocorre durante a implantação de uma nova linha para um novo modelo de veículo, o custo de modificação para implantação é de cerca de 37 mil Reais, um valor bem baixo comparado ao valor do

projeto como um todo. A implantação e os resultados obtidos são recolhidos durante a fase IV.

5.4 Aplicação da Fase IV – Retroalimentação

Nessa fase é realizado o acompanhamento da instalação do novo processo, levando em conta as dificuldades, e as melhores práticas adotadas na implementação, além da coleta dos resultados conforme as etapas I e II.

Como resultado da aplicação dessa solução, o número de erros ocorridos durante essa operação que poderia gerar retrabalho foi reduzido à zero. Além de um ganho de mais de 25% de tempo ciclo para esse processo específico, a coleta desses resultados consolida a etapa I.

Foram coletadas as melhores práticas, que serão utilizadas na implantação do mesmo processo, para outras plantas e modelos de veículos consolidando a etapa II.

A implantação desse projeto ocorre em paralelo, com a seleção de outros processos identificados na Fase II do método. O conceito utilizado nesse processo é catalogado como uma boa prática de processo adotada em todas as plantas.

O conhecimento cada vez maior dos envolvidos com o propósito da adoção dos requisitos, possibilita a geração de novas ideias referentes à atualização dos processos. Quanto mais pessoas na empresa possuem conhecimento sobre o assunto, mais ideias surgem de todos os departamentos. A empresa possui um sistema interno para geração de ideias, o mesmo é utilizado para catalogar todas as ideias relativas à indústria 4.0.

É importante registrar que a aplicação do método não seguiu todo rigor exigido para o teste do mesmo pois, a aplicação ocorreu ao mesmo tempo em que,

as etapas do método estavam sendo desenvolvidas e também levando em consideração, a cultura da empresa na adoção de novos processos, que necessitam uma validação interna, bem como auditorias que validem a utilização de qualquer processo, e método adotado como oficial.

6 CONCLUSÃO

6.1 Análise dos resultados e limitações

A aplicação do método aqui proposto no caso da montadora de veículos demonstrou que a utilização do mesmo é viável.

A proposta principal do método está na definição dos requisitos do programa *industrie 4.0* que devem ser adotados e na metodologia utilizada para implantação dos mesmos. A experiência de aplicação demonstrou que a utilização do método é possível, no que se propõe. No entanto, para atingir o máximo potencial de aplicação, o mesmo teria de ser inserido na cultura da empresa e absorvido nos seus processos e métodos internos. As atividades propostas no método foram todas executadas dentro da empresa, no entanto, a área de manufatura teve uma atuação maior sobre a definição dos objetivos.

Para a verificação correta, seria necessário a utilização nas áreas envolvidas, no contexto da Indústria 4.0 (recursos humanos, desenvolvimento de produto, engenharia industrial) e não apenas a área de manufatura, pois trabalhando em sinergia, os resultados poderiam ser rapidamente alcançados e com um grau menor de esforço.

O sucesso da implantação do projeto bem como seus resultados foram favoráveis para a continuação da adoção dos demais requisitos pela empresa, incentivando ações que buscam o aperfeiçoamento dos processos, utilizando os conceitos do programa *Indústria 4.0*. A empresa objeto deste estudo possui também direcionamento por parte de sua matriz, para prosseguir na adoção dos requisitos como estratégia global, mostrando assim a importância da empresa caminhar nessa direção.

O resultado obtido pela implantação do processo citado no estudo de caso, tendo como ganho a eliminação de retrabalho e 25% de redução do tempo ciclo, demonstra a importância de se continuar o aprimoramento do método na adoção dessas tecnologias, uma vez que ainda existem barreiras tecnológicas a serem superadas.

6.2 Considerações finais

O trabalho aqui proposto foi desenvolvido utilizando uma abordagem conceitual, porém com aplicações práticas para as empresas. O objetivo principal do trabalho é atuar na adoção dos requisitos do programa *Indústria 4.0*, para empresas do setor automotivo. Para esse objetivo foi desenvolvida uma adaptação dos métodos de implantação identificados na revisão bibliográfica como sendo os principais métodos existentes na implantação deste conceito. Uma vez que nenhum deles é focado para o setor automotivo, o método adaptado levou em consideração as características específicas de uma empresa desse setor, a saber uma montadora de veículos.

Na revisão bibliográfica, foram definidos os conceitos importantes que devem ser adotados, e para isso o método foi adaptado e verificado através da aplicação na empresa.

A aplicação ocorreu ao mesmo tempo em que o método estava sendo desenvolvido dessa forma, o principal objetivo era testar a concepção do método como uma ideia, na adoção dos requisitos do programa *indústria 4.0*.

O desafio para adoção de todos os requisitos do programa *indústria 4.0* ainda é grande, uma vez que evidenciado na revisão bibliográfica, existem diversas barreiras tecnológicas e sociais a serem superadas. A medida em que o assunto vem ganhando força e as indústrias começam a apresentar seus casos de sucesso,

essas barreiras vão se tornando cada vez menores. Para esse propósito, o método aqui apresentado demonstrou através dos resultados obtidos, que pode ser utilizado com sucesso por empresas do setor automotivo que buscam entender os conceitos envolvidos na 4ª Revolução Industrial, bem como apresentar resultados concretos da implantação desses conceitos.

6.3 Trabalhos futuros

O método desenvolvido possui oportunidades de melhoria, a fim de torna-se mais específico para cada tipo de empresa. Melhorias no sentido da adoção de ferramentas de gerenciamento de projeto, podem contribuir para um método mais robusto e com maior facilidade de aplicação.

A aplicação do método em outras empresas do setor também pode evidenciar a sua validade e identificar pontos que ainda necessitam melhorias.

Pouco se fala na literatura sobre os aspectos sociais envolvidos nessa transformação da indústria. Ao se relacionar com uma montadora de veículos com mais de dez mil funcionários, é importante avaliar também como essa força de trabalho será afetada. Identificado qual caminho a seguir para requalificação, desenvolvimento e contratação de pessoal para atender as expectativas do programa.

Acredita-se que este trabalho tenha contribuído com a ampliação do conhecimento sobre o tema Indústria 4.0 como também o desenvolvimento das empresas do setor automotivo na adoção dos requisitos para essa nova revolução Industrial.

7 REFERÊNCIAS

- [1] A. A. Corrêa, “Avaliação de um sistema integrado de gestão: um estudo na indústria automotiva,” Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- [2] Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA, “Anuário da Indústria Automobilística Brasileira,” São Paulo, 2016.
- [3] Organisation for Economic Co-Operation and Development, “Can Cars Come Clean?,” Paris, 2004.
- [4] A. Comin, “De volta para o futuro: política e reestruturação industrial do complexo automobilístico nos anos 90.” São Paulo: Annablume, 1998.
- [5] S. M. P. de Araújo, “A indústria automobilística, o trabalho e o capital migrante em novas regiões produtivas brasileiras,” *Rev. Parana. Desenvolvimento-RPD*, vol. 123, pp. 99–116, 2012.
- [6] Q. Tu, M. A. Vanderembse, and T. S. Ragu-Nathan, “The impact of time-based manufacturing practices on mass customization and value to customer,” *J. Oper. Manag.*, vol. 19, pp. 201–217, 2001.
- [7] A. Gustavo and C. Machado, “Customização em Massa na Indústria Automotiva: os casos Scania e Randon,” *Rev. Gestão e Planej.*, vol. 8, no. 2, pp. 1–18, 2007.
- [8] R. Anderl and A. Picard, “Integrated Component Data Model for Smart.,” *Semin. Int. Alta Tecnol. Piracicaba UNIMEP*, 2014.
- [9] R. Drath and A. Horch, “Industrie 4.0: Hit or hype? [Industry Forum],” *IEEE Industrial Electronics Magazine*. 2014.
- [10] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, “Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0 - Final report of the Industrie 4.0 Working Group,” 2013. [Online]. Available: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf.
- [11] R. Anderl, “Industrie 4.0 Advanced Engineering of Smart,” *Semin. Int. Alta Tecnol. Piracicaba UNIMEP*, 2014.
- [12] Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA, “Guia setorial da indústria automobilística brasileira,” São Paulo, 2015.
- [13] G. Vickery, “Globalization in the Automobile Industry,” *Paris Ind.*, 1996.
- [14] T. Fujimoto, “The Evolution of a Manufacturing System at Toyota.,” *New York Oxford Univ. Press*, 1999.
- [15] A. Fujimoto, T.; Takeishi, “Automobiles: Strategy-Based Lean production.,” *Tokyo Univ. Tokyo*, 2001.

- [16] National Research Council - NRC, "Personal Cars and China." 2004.
- [17] U.S. Department of Commerce - DOC, "The Road Ahead for the U.S," 2005.
- [18] I. Chiavenato, "Introdução à teoria geral da administração.," 1999.
- [19] R. Anderl, "Industrie 4.0 Advanced Engineering of Smart," in *Seminario Internacional de Alta Tecnologia Piracicaba UNIMEP*, 2014.
- [20] U. Bracht and T. Masurat, "The Digital Factory between vision and reality Computers in Industry," pp. 325-333-NaN-0, 2005.
- [21] DFKI - German Research Centre for Artificial Intelligence, "Manufacturing the future," 2011. [Online]. Available: <http://ecipe.org/blog/manufacturing-the-future/>.
- [22] M. Hermann, T. Pentek, and B. Otto, "Design principles for industrie 4.0 scenarios: a literature review," no. 1, p. 15, 2015.
- [23] D. Lucke, C. Constantinescu, and E. Westkämper, "Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing," in *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*, London: Springer London, pp. 115–118.
- [24] MAPI Foundation, "The internet of things industrie 4.0 vs the industrial internet," 2015. [Online]. Available: <https://mapifoundation.org/economic/2015/7/23/the-internet-of-things-industrie-40-vs-the-industrial-internet>. [Accessed: 20-May-2017].
- [25] Premier of the State Council of China, "Internet+," 2015. [Online]. Available: <http://english.gov.cn/>.
- [26] The Boston Consulting Group - BCG, "Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries," 2015.
- [27] G. Schuh, M. Pitsch, S. Rudolf, W. Karmann, and M. Sommer, "Modular sensor platform for service-oriented cyber-physical systems in the european tool making industry," *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 374–379, 2014.
- [28] E. A. Lee, "Cyber Physical Systems: Design Challenges.," *1th Object Oriented Realt. Distrib. Comput. ISORC pp*, pp. 363-369-NaN-0, 2008.
- [29] Bauernhansl, "Industrie 4.0 in Produktion Automatisierung und Logistik Anwendung Technologien und Hoppel and B VogelHeuser," 2014.
- [30] M. Mikusz, "Towards an understanding of cyber-physical systems as industrial software-product-service systems," *Procedia CIRP*, vol. 16, pp. 385–389, 2014.
- [31] E. A. Lee and S. a Seshia, *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach*, 1.5. 2014.
- [32] W. J. Wells LJ, Camelio JA, Williams CB, "Cyber-physical security challenges in manufacturing systems.," *Manuf Lett*, vol. 2, pp. 74–7, 2014.
- [33] G. Schuh, T. Potente, C. Wesch-Potente, A. R. Weber, and J. P. Prote,

- “Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0,” *Procedia CIRP*, vol. 19, no. C, pp. 51–56, 2014.
- [34] G. Schuh, T. Potente, C. Thomas, and T. Hempel, “Short-term cyber-physical production management,” *Procedia CIRP*, vol. 25, no. C, pp. 154–160, 2014.
- [35] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Comput. Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [36] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [37] J. Buckley, “The Internet of Things: From RFID to the Next-Generation Pervasive Networked Systems,” *Auerbach Publications*. New York, NY, 2006.
- [38] K. Gusmeroli, S., Haller, S., Harrison, M., Kalaboukas, K., Tomasella, M., Vermesan, O., & Wouters, *Vision and challenges for realizing the internet of things*, vol. 1, no. APRIL. 2009.
- [39] J. Bélissent, “Getting clever about smart cities: new opportunities require new business models,” *Forrester Res. inc*, p. 33, 2010.
- [40] R. Caceres and A. Friday, “UbiComp systems at 20: Progress, opportunities, and challenges,” *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 11, no. 1, pp. 14–21, 2012.
- [41] L. Barteveyan, “Industry 4.0 - Summary Report,” p. 8, 2015.
- [42] X. Li, R. Lu, X. Liang, X. Shen, J. Chen, and X. Lin, “Smart community: An internet of things application,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 11, pp. 68–75, 2011.
- [43] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, and I. Chlamtac, “Internet of things: Vision, applications and research challenges,” *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 7, pp. 1497–1516, 2012.
- [44] J. Cardoso, K. Voigt, and M. Winkler, “Service Engineering for The Internet of Services,” *Enterp. Inf. Syst.*, vol. 19, pp. 15–27, 2009.
- [45] R. Moreno-Vozmediano, R. S. Montero, and I. M. Llorente, “Key challenges in cloud computing: Enabling the future internet of services,” *IEEE Internet Comput.*, vol. 17, no. 4, pp. 18–25, 2013.
- [46] “Plattform Industrie 4.0,” 2017. [Online]. Available: <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>. [Accessed: 09-Feb-2016].
- [47] A. W. Scheer, “Industrie 4.0,” *Ger. Trade Invest*, 2013.
- [48] E. Abele *et al.*, “Effiziente Fabrik 4.0,” *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 110, no. 3, pp. 150–153, 2015.
- [49] A. Radziwon, A. Bilberg, M. Bogers, and E. S. Madsen, “The smart factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions,” *Procedia Eng.*, vol. 69, pp. 1184–1190, 2014.
- [50] D. Zuehlke, “SmartFactory-Towards a factory-of-things,” *Annu. Rev. Control*,

vol. 34, no. 1, pp. 129–138, 2010.

- [51] M. Weiser, “The computer for the 21st century,” *Sci. Am. (International Ed.)*, vol. 265, no. 3, pp. 66–75, 1991.
- [52] J.-S. Yoon, S.-J. Shin, and S.-H. Suh, “A conceptual framework for the ubiquitous factory,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 8, pp. 2174–2189, Apr. 2012.
- [53] A. Dujin, C. Geissler, and D. Horstkötter, “Industry 4.0 The new industrial revolution How Europe will succeed,” *Rol. Berger Strateg. Consult.*, no. March, pp. 1–24, 2014.
- [54] E. Aitenbichler, F. Lyardet, G. Austaller, M. Mühlhäuser, and J. Kangasharju, “Engineering intuitive and self-explanatory smart products,” *Proc. 2007 ACM Symp. Appl. Comput.*, p. 1637, 2007.
- [55] S. A. Rijdsdijk and E. J. Hultink, “How today’s consumers perceive tomorrow’s smart products,” *J. Prod. Innov. Manag.*, vol. 26, no. 1, pp. 24–42, 2009.
- [56] M. Miche, M.; Schreiber, D.; Hartmann, “Core Services for Smart Products.,” *Architecture*, pp. 1–4, 2009.
- [57] R. Anderl, “Industrie 4.0 -Technological approaches, use cases, and implementation,” *At-Automatisierungstechnik*. 2015.
- [58] C. Bley, H., & Franke, “Integration of Product Design and Assembly Planning,” in *CIRP Annals - Manufacturing Systems*, 2004.
- [59] E. Wohlke, G., & Schille, “Digital Planning Validation in automotive industry.,” *Comput. Ind.*, pp. 395–405, 2005.
- [60] T. J. Harrel, C. R., Mott, J. R., Bateman, R. E., Bowden, R. G., & Gogg, *Simulação Otimizando Sistemas*, 2nd ed. Sao Paulo: Instituto IMAM, 2002.
- [61] Deloitte, “Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies,” *Deloitte*, pp. 1–30, 2015.
- [62] E. G. Conte and K. Schutzer, “Desenvolvimento de um sistema para monitorar e simular a manufatura cnc,” Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Barbara dOeste, 2013.
- [63] G. Reinhart and G. Wünsch, “Economic application of virtual commissioning to mechatronic production systems,” *Prod. Eng.*, vol. 1, no. 4, pp. 371–379, 2007.
- [64] H. Park, J. Kwak, and G. Wang, “Plant model generation for PLC simulation.,” *Int. J. Prod. Res.*, 2010.
- [65] M. Ko and S. C. Park, “Template-based modeling methodology of a virtual plant for virtual commmissioning.,” *Concurrent Eng. Res. Appl.*, vol. 22, pp. 197–205, 2014.
- [66] P. Verrière and C. Quenedey, “Can the Fourth Industrial Revolution Save French Industry?,” *Wavestone*, pp. 0–3, 2012.

- [67] J. Jäger, O. Schöllhammer, M. Lickefett, and T. Bauernhansl, "ScienceDirect Advanced complexity management strategic recommendations of handling the 'Industrie 4.0' complexity for small and medium enterprises," *Procedia CIRP*, vol. 0, pp. 0–5, 2016.
- [68] A. Khan and K. Turowski, "A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems," pp. 441–448, 2016.
- [69] A. Osterwalder and Y. Pigneur, *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, 1st ed. John Wiley and Sons, 2010.
- [70] VDMA Industrie 4.0 Forum, "Leitfaden Industrie 4.0," 2015.
- [71] A. Velandia, Diana Segura; Neal, Aaron; Goodall, Paul; Conway, Paul; West, "Industrie 4.0 Implementations in the Automotive Industry," in *Volume 3: Advances in Manufacturing Technology XXX*, 2016, pp. 319–324.
- [72] R. Geissbauer, S. Reinhard, V. Koch, and S. Kuge, "Industrie 4.0 Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution," *PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft*, 2014.
- [73] A. Khan and K. Turowski, "A Survey of Current Challenges in Manufacturing Industry and Preparation for Industry 4.0," vol. 450, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 15–26.
- [74] Industrie 4.0 Forum VDMA, "Industrie 4.0 in practice – Solutions for industrial applications," 2015.
- [75] R. A. de Jesus, L. R. Francischini, and K. Schutzer, "INDUSTRIE 4.0: BIBLIOMETRIA E ANÁLISE DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA RECENTE," in *ANAIS XXIII SIMPEP*, 2016, p. 518.
- [76] J. J. S. FONSECA, "Metodologia da pesquisa científica." UEC, Fortaleza, 2002.
- [77] D. T. Silveira and F. P. Córdova, *A pesquisa científica*. 2009.
- [78] M. Kahl, D. Floriano, E. V Jaeger, and M. da Pesquisa Científica, "Computação Ubíqua, Tecnologia Sem Limites."