

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CAIO FELIPE DA CRUZ

**OS EFEITOS DA INTERNET DAS COISAS (IoT) EM LINHAS DE
MONTAGENS: ESTUDOS DE CASO NA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS**

São Paulo

2020

CAIO FELIPE DA CRUZ

**OS EFEITOS DA INTERNET DAS COISAS (IoT) EM LINHAS DE
MONTAGENS: ESTUDOS DE CASO NA INDUSTRIA DE AUTOPEÇAS**

Dissertação apresentada ao programa de mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador Prof.^a Dr.^a Rosangela Maria Vanalle

São Paulo

2020

Cruz, Caio Felipe da.

Os efeitos da internet das coisas (IoT) em linhas de montagens: estudos de caso na indústria de autopeças./ Caio Felipe da Cruz. 2020.

88 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2020.

Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Rosangela Maria Vanalle

1. Internet das Coisas. 2. Indústria 4.0. 3. Gestão da Produção. 4. 5. Estudos de caso. 5. Autopeças.

I. Vanalle, Rosangela Maria.

II. Título.

CDU 658.5

“Sucesso é o processo contínuo do esforço
para se tornar maior”

Tony Robbins

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela saúde e sabedoria para a continuidade dos estudos mesmo nos momentos mais difíceis.

A minha esposa Tayna, que esteve ao meu lado durante esses anos de estudos, me apoiando e incentivando. Ao nosso filho que foi a motivação maior para que eu não desistisse, mesmo em momentos adversos, como a ausência em seu primeiro aniversário em função do módulo internacional deste mestrado.

Aos meus familiares, em especial ao meu pai Elizeu da Cruz que me proveu a base necessária para chegar onde estou hoje e a minha irmã Melina Cristina da Cruz que sempre torceu pelo meu sucesso. Assim como pessoas queridas e que também estiveram torcendo por mim: Suely, Eliza, Kauan, Nilson, Cira, Agnaldo, Ivani e Paulo. Todos fundamentais nesse período da minha vida.

A minha professora orientadora Prof.^a Dr.^a Rosangela Maria Vanalle, pela paciência, pelo carinho, por ter acreditado em mim, mesmo em condições de dificuldades.

A todos os colegas que estudaram comigo e professores do programa de mestrado da UNINOVE que de alguma forma contribuíram com esta dissertação.

Agradeço também a Universidade Nove de Julho pela oportunidade de cursar este programa de Mestrado.

Por fim a todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta gratificante jornada, a minha eterna gratidão

RESUMO

Com o advento de novas tecnologias há uma evolução nos sistemas de produção. A chamada Indústria 4.0 (i4.0) traz consigo o conceito de fábricas inteligentes, aplicando sistemas avançados de tecnologia da informação (TI) e Internet das Coisas (IoT) orientadas para o aumento de produtividade. A IoT possui uma vasta possibilidade de aplicação na área industrial, entretanto não há evidências dos efeitos de sua aplicação em linhas de montagem de empresas de autopeças. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo entender como as empresas de autopeças estão implementando a IoT nas operações de suas linhas de montagem e quais os efeitos dessa implementação nos índices de desempenho. Para tanto, uma revisão bibliográfica é realizada para identificar a lacuna de pesquisa. Em seguida, os dados de três fábricas de autopeças são coletados e analisados, utilizando-se da metodologia Estudos de Caso a fim de avaliar e comparar a viabilidade da pesquisa. Os resultados mostram que a IoT pode produzir efeitos positivos, principalmente no índice de eficiência global (OEE) das linhas de montagem de autopeças, podendo chegar a um incremento de até 10 pontos percentuais no período de 12 meses. A pesquisa mostra também que em um dos casos estudados utilizou-se um *Framework* para IoT e que o mesmo teve maior evolução nos índices de desempenho, maior adoção de tecnologias IoT e demandou o menor período para implementação.. Conclui-se que a implementação da IoT em linhas de montagem de autopeças foi favorável para as empresas estudadas ao passo em que produz efeitos positivos nos seus índices de desempenho. Dessa forma, esta pesquisa pode trazer contribuições tanto à Teoria quanto à Prática da Engenharia de Produção e da Gestão de Operações podendo, indiretamente, ajudar a fortalecer a competitividade na indústria de autopeças, beneficiando a sociedade e a economia das regiões onde estão instaladas as fábricas deste setor.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Industria 4.0, Gestão da Produção, Estudos de caso, Autopeças.

ABSTRACT

With the advent of new technologies, there is a production systems evolution. The so-called Industry 4.0 (i4.0) brings the concept of Smart Factories applying advanced systems of information technology (IT) and Internet of Things (*IoT*) aimed at increasing production. The *IoT* has a wide scope of application in the industrial area but there are no effects of its application on assembly lines, as well as research aimed at auto parts companies that use *IoT* technology to improve manufacturing operations. In this context, this paper focused on understand how auto parts companies are implementing *IoT* in assembly line operations and which are the effects of this implementation in performance indicators. For this, a bibliographic review is carried out to identify a research gap. Then, data from three auto parts factories are collected and analyzed, using the Case Studies methodology to analyses and compare the feasibility of the research. The results showed that the *IoT* can produce positive effects, mainly in the global efficiency index (OEE) of the auto parts assembly lines, reaching an increase of up to 10 percentage points in the period of 12 months. Research also showed that, one of the cases studied was adopted an *IoT* Framework and this case achieved higher performance, implemented more *IoT* technologies and demanded shorter execution period. In this way, this research can bring contributions both to Theory and to the Practice of Production Engineering and Operations Management, helping in a indirect way to increase the auto parts industry, benefiting the economy of the areas where the factories are installed.

Key words: Internet of Things (*IoT*), Industry 4.0, Study Cases, Auto parts, Assembly Line, Effects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do trabalho.....	21
Figura 2: Principais funções como “operações” de transformação	23
Figura 3: Relação entre o sistema de produção e o sistema de manufatura	24
Figura 4: Framework para interações dos dados RFID	29
Figura 5: Tipos de sensores WSN	31
Figura 6: Empilhamento dos recursos de virtualização Middleware	32
Figura 7: Visão Geral de uma Nuvem Computacional.....	35
Figura 8: Framework conceitual para aplicação da IoT no Sistema de Produção.....	38
Figura 9: Sub-KPIs e a adoção da IoT.....	39
Figura 10: Modelo de desempenho de produção baseado em IoT	42
Figura 11: Condução do Estudo de Caso.....	51
Figura 12: Fluxograma - uma visão geral do processo da Fábrica "A"	56
Figura 13: Layout da linha de montagem estudada na fábrica "A"	57
Figura 14: Framework para IoT em linhas de montagem da empresa A	60
Figura 15: Padrão de reação	62
Figura 16: Fluxograma - uma visão geral do processo da Fábrica "B"	65
Figura 17: Layout da linha de montagem estudada na fábrica "B"	66
Figura 18: Fases do projeto IoT na empresa B.....	67
Figura 19: 2 Etapas de implementação do projeto IoT na empresa B.....	67
Figura 20: Fluxograma - uma visão geral do processo da Fábrica "C"	71
Figura 21: Layout da linha de montagem estudada na fábrica "C"	72
Figura 22: Internet das coisas aplicada à linha de montagem da empresa C.....	73
Figura 23: Fases do projeto IoT na linha de montagem da empresa C	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas para revisão bibliográfica sistemática sobre IoT	44
Quadro 2: Conjuntos de pesquisa formados a partir das palavras chave.....	45
Quadro 3 - Bases de dados utilizadas na pesquisa.....	45
Quadro 4 - Contribuição dos artigos selecionados	49
Quadro 5 - Introdução aos casos estudados.....	53
Quadro 6 - Tecnologias IoT implementadas pelas empresas	78
Quadro 7 - Comparativo de implementação da IoT	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Demonstrativo da quantidade de artigos analisados.....	46
Tabela 2 - Publicações por periódicos	47
Tabela 3 - Evolução em pontos percentuais entre os meses 1 e 12.....	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Índice de disponibilidade - Caso A	61
Gráfico 2: Índice de eficiência - Caso A	62
Gráfico 3: Índice de qualidade - Caso A	63
Gráfico 4: OEE - Índice de eficiência global – Caso A.....	64
Gráfico 5: Índice de disponibilidade - Caso B	68
Gráfico 6: Índice de eficiência - Caso B.....	68
Gráfico 7: Índice de qualidade - Caso B	69
Gráfico 8: OEE - Índice de eficiência - Caso B	70
Gráfico 9: Índice de disponibilidade - Caso C	74
Gráfico 10: Índice de Eficiência - Caso C.....	74
Gráfico 11: Índice de qualidade - Caso C.....	75
Gráfico 12: OEE - Índice de eficiência Global.....	75
Gráfico 13: Comparativo de evolução do OEE entre as empresas A, B e C.....	77

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2. OBJETIVOS	17
1.2.1. Objetivo geral.....	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. JUSTIFICATIVAS PARA O ESTUDO.....	18
1.4. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	20
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 FUNÇÃO PRODUÇÃO, SISTEMA DE PRODUÇÃO E LINHAS DE MONTAGEM.....	22
2.1.1 Função produção	22
2.1.2 Sistema de Produção	23
2.1.3 Linhas de montagem	25
2.2 <i>INTERNET DAS COISAS - IoT</i>	26
2.2.1 Tecnologias <i>IoT</i> : Identificação por Rádio frequência – RFID.....	27
2.2.2 Tecnologia <i>IoT</i> : Redes de sensores sem fios – WSN.....	30
2.2.4 Tecnologia <i>IoT</i> : <i>Middleware</i>	31
2.2.5 Tecnologias <i>IoT</i> : Computação em nuvem.....	33
2.2.6 Tecnologia <i>IoT</i> : Softwares para aplicação de <i>IoT</i>	35
2.3 <i>INTERNET DAS COISAS EM LINHAS DE MONTAGEM</i>	37
2.4 MÉTRICAS DE DESEMPENHO PARA AMBIENTES DE <i>IoT</i>	38
2.4.1 Índice de disponibilidade	39
2.4.2 Índice de eficiência.....	40
2.4.3 Índice de qualidade.....	40

2.4.4	<i>OEE</i> : índice de eficiência global do equipamento	41
2.4.5	Justificativa para a escolha da métrica <i>OEE</i> para os estudos de caso	42
3.	METODOLOGIA	44
3.1	REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE <i>IoT</i>	44
3.2	METODOLOGIA: ESTUDOS DE CASO	50
4.	RESULTADOS.....	52
4.1	ESTUDO DE CASO – FÁBRICA “A”	55
4.1.1	- Introdução à Fábrica “A”	55
4.1.2	- Processo de fabricação na Fábrica “A”	55
4.1.3	- <i>IoT</i> na Fábrica “A”	56
4.1.4	- Impactos da <i>IoT</i> na Fábrica “A”	61
4.2	ESTUDO DE CASO – FÁBRICA “B”	64
4.2.1	- Introdução à Fábrica “B”	64
4.2.2	- Processo de Fabricação na Fábrica “B”	64
4.2.3	- <i>IoT</i> na Fábrica “B”	65
4.2.4	- Impactos da <i>IoT</i> na Fábrica “B”	67
4.3	ESTUDO DE CASO – FÁBRICA “C”	70
4.3.1	- Introdução à Fábrica “C”	70
4.3.2	- Processo de Fabricação na Fábrica “C”	71
4.3.3	- <i>IoT</i> na Fábrica “C”	71
4.3.4	- Impactos da <i>IoT</i> na Fábrica “C”	74
5.	DISCUSSÕES E ANÁLISE INTERCASOS	76
6.	CONCLUSÃO	79
	APÊNDICE 1	80
	REFERÊNCIAS	81

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca pela máxima produtividade tem sido uma das grandes questões empresariais brasileiras. Para sobreviver em meio a um ambiente altamente competitivo as empresas se veem obrigadas a elevar ao máximo os seus níveis de eficiência bem como reduzir seus desperdícios. No caso das indústrias de autopeças, onde a competição é globalizada, essa questão se torna ainda mais evidente, trazendo à luz a necessidade de constante melhoria nos sistemas de produção. Desta forma, segundo Guerhardt (2019), a *Internet* pode se tornar um importante agente de mudança, pois ela possibilita concentrar e trocar informações de forma rápida, efetiva e segura.

A função produção é central para as organizações porque produz os bens e serviços que são a razão de sua existência (SLACK *et al.*, 1997). Para Zhuang *et al.* (2018), alcançar baixo custo, alta eficiência e qualidade do produto no chão de fábrica através dos métodos adequados de gerenciamento e de controle da produção têm atraído grande atenção. Isso pode ser explicado pelo reconhecimento da importância do papel da gestão bem como sua constante evolução ao longo das últimas décadas.

Em 1911, durante a Segunda Revolução Industrial, Taylor (1971) defendeu que a administração da produção era uma espécie de ciência. Antes da década de 1960, a gestão da produção e controle do chão de fábrica era realizada, principalmente com as mãos (ZHUANG *etal.*2018). O desenvolvimento digital e o surgimento de computadores na terceira revolução industrial possibilitaram uma evolução substancial no Gerenciamento da Produção. Sensores e Controladores Lógicos Programáveis (CLP) possibilitaram a extração de dados da produção diretamente das máquinas.

Atualmente, o ambiente industrial está passando pela quarta revolução, denominada Indústria 4.0 (i4.0). O grande avanço na tecnologia da informação e comunicação e sua massiva utilização na indústria, impulsionam a capacidade de identificar, gravar e atualizar dados, potencializando os processos de controle e tomadas de decisões (REZAEI *et al.*, 2017). Para tanto, a utilização das tecnologias digitais emergente da i4.0 é fundamental já que, sem elas, as empresas terão dificuldades em reduzir custos e apresentar inovações, o que as colocam em posição desfavorável em relação aos concorrentes que fazem investimentos em tecnologias (KHAN; TUROWSKI, 2016).

Considerada uma das principais tecnologias habilitadoras da i4.0, a *IoT* (sigla em inglês para *Internet* das Coisas) tem ganhado destaque. A maior característica da *IoT* é a integração de várias tecnologias de rastreamento, como sensores sem fio e atuadores de rede, podendo identificar, localizar, rastrear, bem como monitorar e controlar, autonomamente, eventos e objetos em tempo real (PACCHINI, 2019). A *IoT* fornece informações de valor, tomadas a partir do sistema de produção ou outros sistemas, proporcionando informações relevantes para a produção, enriquecendo todo o Sistema da Informação Empresarial (ZHUANG *et al.* 2018).

Os processos de montagem têm a tradição de pioneirismo na adoção de novas tecnologias devido à sua grande produção, o que justifica financeiramente investimentos nessa área (COHEN *et al.*, 2019). Portanto, neles também é esperado o pioneirismo na integração das tecnologias da i4.0, formando os sistemas de montagem A4.0 (Assembly 4.0).

Do ponto de vista teórico-prático, a literatura tem apresentado estudos que evidenciam a importância da *IoT* para a 4ª revolução Industrial e as possíveis modificações que acontecerão nos sistemas de produção da i4.0, porém sem apresentar os efeitos nos indicadores de desempenho e um *Framework* que ajude as empresas de autopeças a adotarem a *IoT* em suas linhas de montagem.

A possibilidade de conectividade entre a montagem e outros processos por meio de dispositivos e sensores ligados à *internet* é uma tendência atual e que pode proporcionar diversas aplicações. A *IoT* pode ser utilizada tanto nas atividades anteriores e posteriores à montagem, quanto na própria manufatura e até em ações que estejam indiretamente ligadas à produção, mas que podem impactar o desempenho da linha. Desta forma, por meio da *IoT* diferentes áreas podem ser interligadas à montagem, melhorando assim todo o sistema de produção (ZHUANG *et al.* 2018).

A incerteza quanto aos efeitos causados pela *IoT* no desempenho produtivo das empresas de autopeças que as possuem em suas linhas de montagem podem ser motivos de insegurança no que diz respeito à adoção deste importante conjunto de tecnologias. Contudo, o presente trabalho traz nos próximos capítulos a revisão bibliográfica dos assuntos: *Internet* das Coisas, Linha de Montagem, Estudos de Caso, os Efeitos da *IoT* e indicadores de desempenho para ambientes de *IoT* e fábricas inteligentes; a fim de

preencher a lacuna encontrada no que diz respeito aos efeitos da *IoT* no desempenho das empresas de autopeças.

Para lidar com a crescente frequência e com a magnitude das mudanças na tecnologia e nos métodos gerenciais, os pesquisadores de Gestão Operacional precisam empregar mais métodos de pesquisa baseados em campo. (LEWIS, 1998). O estudo de caso tem sido consistentemente um dos métodos de pesquisa mais poderosos em gerenciamento de operações (VOSS *et al.* 2002).

Cauchick e Sousa (2012) definem Estudos de Caso como sendo um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio da análise aprofundada de um ou mais objetos de análise (casos).

A metodologia Estudos de Caso foi escolhida para tal pois, é o instrumento de pesquisa de natureza aplicada, ideal quando existe lacuna de conhecimento sobre algum problema concreto oriundo de organizações industriais.

A relevância de tal trabalho se dá em função da possibilidade de implementação de tecnologias capaz de conectar diversos agentes do sistema de produção de forma autônoma e em tempo real, otimizando a coleta, armazenamento e uso de dados, melhorando, assim, a tomada de decisão.

1.1.PROBLEMA DE PESQUISA

O avanço tecnológico desenvolvido nas últimas décadas possibilitou à muitas empresas elevarem de maneira substancial os resultados de suas fábricas, tornando-as cada vez mais competitivas (ROSSIT *et al.*, 2019). Segundo Schwab (2016), novas soluções tecnológicas estão surgindo e a uma velocidade jamais vista antes, dando origem a 4ª Revolução Industrial. Neste contexto, a *IoT* ganha papel de destaque por possibilitar a conexão de objetos, dispositivos e máquinas à rede mundial de computadores.

A partir da revisão bibliográfica realizada como parte deste trabalho, observou-se que parte das pesquisas relacionadas à *Internet das Coisas* visam explicar as tecnologias específicas da *IoT*, como: RFID-Identificação por Rádio Frequência, WSN-Redes de Sensores sem Fios, Software específicos para *IoT*, *Middleware* e Computação em Nuvem. Esse é o caso de trabalhos como os de Lee e Lee (2015), Sheng *et al.* (2008), Cruz *et al.*

(2018), Mittal *et al.* (2017), Padilla *et al.*(2015), Souza *et al.* (2010), Solic *et al.* (2017), Mohamed *et al.* (2017), Wen e Li (2013), Czauski *et al.* (2016), Pérez e Gutiérrez (2014), Klefstad, Avram (2014), Liu e Xu (2017), Ahmeda *et al.* (2017), Gong *et al.* (2010), Liu *et al.* (2017), Puliafito *et al.* (2015), Yelamarthi *et al.* (2017) e Chen *et al.* (2015).

Os trabalhos de Zheng *et al.* (2018), Zhang *et al.* (2014) e Zhuang *et al.* (2018) propõem *Frameworks* para Manufatura Inteligente nos quais consideram, principalmente, tecnologias da *IoT* para auxiliar a gestão da produção no processo de tomada de decisão.

Na mesma linha de pesquisa envolvendo *IoT* e a gestão da produção, Syafrudin *et al.* (2018) sugerem a adoção de um *Framework* para monitoramento de produção em tempo real utilizando a *Internet* das Coisas (*IoT*).

Outras pesquisas, como as realizadas por Hwang *et al.* (2016), sugerem indicadores de desempenho para ambientes *IoT* e fábricas inteligentes com base, principalmente, na norma ISO 22400.

Entretanto, nesses trabalhos não foi identificado destaque no que diz respeito à implantação da *IoT* em linhas de montagens de autopeças e seus efeitos nos indicadores de desempenho das empresas. Assim, com a lacuna identificada na literatura, este trabalho buscou responder às seguintes questões de pesquisa:

1- Quais tecnologias da *IoT* encontradas na literatura e que as fabricantes de autopeças estão utilizando?

2- A partir dos indicadores de desempenho encontrados na literatura, quais os efeitos da *IoT* quando implementada nas linhas de montagem de autopeças?

1.2.OBJETIVOS

Para responder as questões de pesquisa propostas, os seguintes objetivos foram considerados:

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os efeitos da *IoT* no desempenho de linhas de montagem.

1.2.2. Objetivos específicos

Dessa forma, dois objetivos específicos se fazem necessários, sendo eles:

- Mapear a literatura para identificar quais são as principais tecnologias que envolvem a *IoT* em processos de manufatura.
- Por meio de estudos de caso em empresas de autopeças, analisar os efeitos da adoção da *IoT* no desempenho das linhas de montagem.

1.3.JUSTIFICATIVAS PARA O ESTUDO

Com o advento de novas tecnologias há uma evolução nos sistemas de produção. Robôs colaborativos, sensores e sistemas conectados à rede são alguns dos inúmeros exemplos tecnológicos desenvolvidos nas últimas décadas e que possibilitaram a muitas empresas elevarem de maneira substancial os resultados de suas fábricas tornando-as cada vez mais competitivas. A 4ª Revolução Industrial já está em curso e as empresas, em especial as fabricantes brasileiras de autopeças, precisam estar preparadas para seus desafios.

De acordo com Anfavea (2018) o setor automotivo tem papel importante na economia nacional, pois representa cerca de 22% do Produto Interno Bruto (PIB) industrial do Brasil. Segundo o relatório de desempenho do setor de autopeças (SINDIPEÇAS, 2019), o faturamento total das indústrias de autopeças foi de R\$ 66,1 bilhões em 2018.

Apesar da importância deste setor para o país, a concorrência globalizada dá espaço para o aumento na importação de autopeças e, conseqüentemente, reduzem a demanda pelas peças nacionais. Neste sentido, há um impacto para a sociedade local no que diz respeito à geração de empregos. Exemplo disso, no ano de 2008 a indústria de autopeças no Brasil empregava aproximadamente 207.500 pessoas (SINDIPEÇAS, 2018). Em comparação com o ano de 2018, este número caiu 15,9%, com 174.537 empregados, totalizando o fechamento de quase 37 mil postos de trabalho (SINDIPEÇAS, 2019).

Dados apontam a 4ª Revolução Industrial como uma oportunidade para as empresas. Segundo levantamento da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2019), a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil, a partir da migração da indústria para o conceito 4.0, será de, no mínimo, R\$ 73 bilhões/ano. Uma das propostas da Indústria 4.0 é a fábrica inteligente e, para isso, se faz necessária aquisição de dados por meio da *IoT*, a fim de baixar os riscos da tomada de decisão e elevar os resultados das empresas.

A *IoT* quando aplicada no sistema de produção permite automatizar e controlar tarefas que são realizadas diariamente, tornando-as mais eficientes. A comunicação entre máquinas ajuda a manter a transparência nos processos, uniformidade nas tarefas, qualidade do serviço e tomada de decisões necessárias. Embora atualmente os casos de uso da *IoT* no nível de produção sejam menores e as organizações não saibam como pode-se tirar proveito desta tecnologia (KAHN *et al.*, 2016).

O “Relatório do Plano de Ação – Iniciativas e projetos mobilizadores 2017” (BNDES, 2017) aponta que a *IoT* terá um impacto de US\$ 11 bilhões a US\$ 25 bilhões na indústria brasileira, até 2025.

Entretanto, a indústria de autopeças precisa superar outro desafio, além da competitividade globalizada, relacionado à necessidade de assertividade quanto à implementação de tecnologias em função da escassez de recursos financeiros aliada ao alto custo de implementação. Segundo SINDIPECAS (2019) o total de investimentos realizados pela indústria de autopeças no Brasil em 2018 caiu 71% em relação à 2013, saindo de 1929,2 para 558,9 (milhões US\$). Além disso, de acordo com o relatório “Emprego e Crescimento: A Agenda da Produtividade”, divulgado pelo Banco Mundial (2018), as tecnologias digitais no Brasil estão entre as mais caras do mundo. O relatório aponta ainda que dos 125 países pesquisados, o Brasil está entre os cinco onde o custo de serviços digitais é mais caro, ficando atrás apenas de algumas nações no centro da África.

Por essas razões este estudo assume importância na medida em que preencherá a lacuna anteriormente destacada e contribuirá para o avanço da literatura e auxílio às empresas ao avaliar como o uso da *IoT* pode gerar impactos nos indicadores de desempenho das empresas de autopeças quando aplicada em suas linhas de montagem

1.4. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O presente trabalho está delimitado sob alguns aspectos, para que fosse possível analisar os efeitos da *IoT* no desempenho de linhas de montagem.

As características da indústria e dos processos devem ser levadas em conta na concepção, seleção e uso de indicadores de desempenho (ZHU *et al.*, 2018). Este estudo limitou-se na medição e análise dos índices de disponibilidade, desempenho, qualidade e eficiência global do equipamento (*OEE*). Dessa forma, não foram levantados outros tipos de indicadores.

Para a realização deste trabalho foram consideradas linhas de montagens de três fábricas de autopeças que atuam principalmente no mercado nacional de peças originais e que fornecem para grandes montadoras de automóveis (OEM, do inglês Original Equipment Manufacturer). Apesar das fábricas pertencem a um mesmo grupo empresarial, tal fato possibilitou maior acesso aos dados necessários para este estudo.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Com a finalidade de atender os objetivos desta pesquisa, este trabalho apresenta seis capítulos, ilustrados na Figura 1, sendo o primeiro capítulo esta introdução. No segundo capítulo, foi desenvolvida a revisão bibliográfica acerca do tema, com o objetivo de encontrar os fundamentos teóricos necessários, bem como a lacuna de pesquisa deste trabalho. No terceiro capítulo, foi estabelecida a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. No quarto, apresentou-se o estudo de caso realizado, conforme a metodologia descrita, assim como os resultados obtidos. No quinto capítulo, os resultados foram comparados e analisados. Por fim, no último capítulo foi realizada a conclusão deste trabalho, assim como, suas limitações e oportunidades de pesquisas futuras.

Figura 1: Estrutura do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a construção deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica a fim de encontrar informações que confirmassem a lacuna de pesquisa. Primeiramente, foi realizada uma revisão preliminar sobre a função produção, sistemas de produção e linhas de montagem. Em seguida, o mapeamento da literatura foi realizado acerca dos temas que envolveram *IoT*, Efeitos da *IoT*, *IoT* em Linhas de Montagem, Estudos de Caso, *Frameworks* em *IoT* e *Frameworks* na Indústria 4.0. Com base na pesquisa realizou-se estudos de caso sobre a implementação da *IoT* e seus efeitos nos indicadores de desempenho no sistema de produção de autopeças.

2.1 FUNÇÃO PRODUÇÃO, SISTEMA DE PRODUÇÃO E LINHAS DE MONTAGEM

Segundo Rezepin *et al.* (2017) o foco central na teoria da produção é ocupado pela questão de usar um modelo que possa descrever suficientemente o processo de fabricação. Para Shingo (1996) Produção pode ser compreendida como uma rede funcional de processos e operações onde:

- Processo: refere-se ao fluxo de materiais ou produtos de um trabalhador para outros, em diferentes estágios nos quais pode-se observar a transformação gradativa das matérias-primas em produtos acabados;
- Operação: refere-se à análise dos diferentes estágios, no qual os operários podem estar trabalhando em diferentes produtos, ou seja, representa uma análise do comportamento humano na produção, no tempo e no espaço;

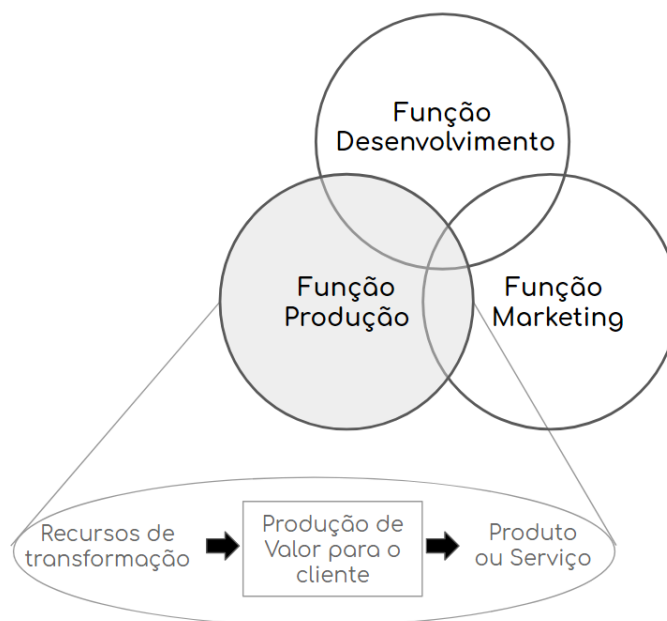
2.1.1 Função produção

Slack *et al.* (1997) definem Produção em duas vertentes: 1) como atividade, que significa qualquer transformação de recursos de input para produzir bens ou serviços para clientes internos ou externos e 2) como uma das três principais operações do processo de transformação, conforme ilustrado na Figura 2.

A função produção é definida como o conjunto de recursos manejados na tarefa de manufatura propriamente dita, podendo referir-se tanto aos equipamentos e instalações

como aos métodos de organização da produção e de controle da qualidade” (CORAZZA, 2003). A função Produção é central para a organização já que é responsável por satisfazer às solicitações de clientes através da produção e entrega de bens e serviços que são a razão de sua existência (SLACK *et al.*, 1997). A função produção, por produzir os produtos de uma empresa e por ser a área que concentra a maior parte do número de funcionários, se torna um dos pilares dos valores da empresa, sendo particularmente importante nesse processo (HAYES *et al.*, 2008; VANALLE *et al.*, 2000).

Figura 2: Principais funções como “operações” de transformação



Fonte: Adaptado de SLACK *et al.* 1997

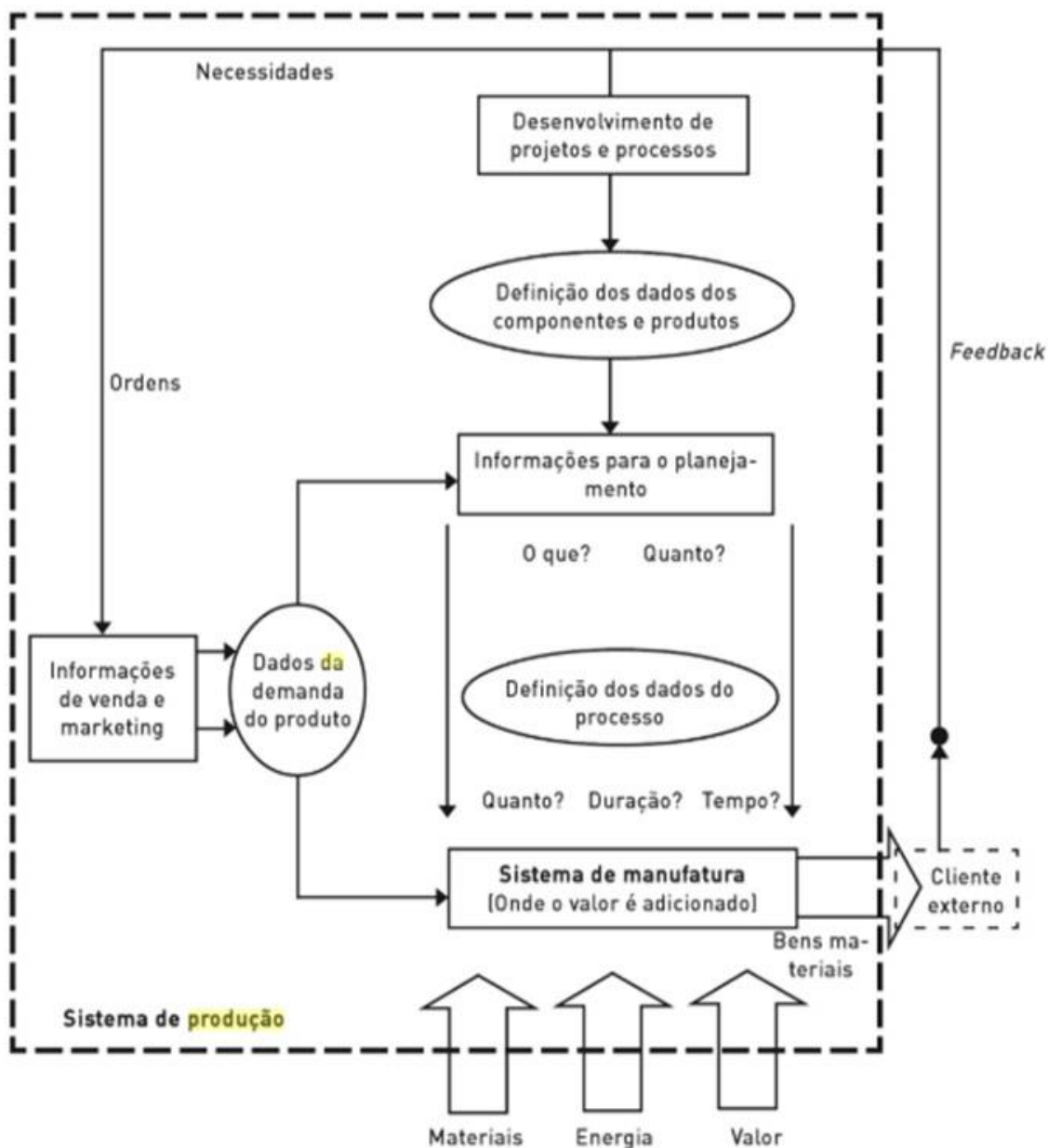
2.1.2 Sistema de Produção

A palavra “sistema” é geralmente utilizada para definir de forma abstrata uma situação relativamente complexa envolvendo elementos que possam ser caracterizados por intermédio de parâmetros mensuráveis (ANTUNES *et al.* 2008).

O sistema de produção é um conjunto de tarefas para gerenciar a função produção em uma empresa (BOZA *et al.*, 2016). Os Sistemas de Produção têm o objetivo de suportar e apoiar de forma efetiva o funcionamento de outro sistema, o de Manufatura, como observado na Figura 3 (BLACK, 1998). Segundo Antunes *et al.* (2008) o Sistema de Manufatura é aquele que recebe um conjunto de entradas (materiais, informações,

energia, etc.), a partir das quais os materiais são fisicamente processados e adquirem valor agregado por meio da utilização de um conjunto de elementos complexos (máquinas e pessoas), o que resulta na saída (produtos acabados) para os consumidores.

Figura 3: Relação entre o sistema de produção e o sistema de manufatura



Fonte: BLACK *et al.* (2016)

Os sistemas produtivos são visualizados a partir de uma combinação do acompanhamento dos fluxos de materiais no tempo e no espaço e do acompanhamento

do fluxo de pessoas, equipamentos e demais recursos no tempo e no espaço (ANTUNES, 1994).

Um sistema de produção eficaz pode ser percebido como um dos principais elementos da vantagem competitiva das empresas de manufatura (CYPLIK; HADAS, 2011). Igualmente, quando as empresas não reconhecem a relação entre a estratégia de produção e a estratégia corporativa, elas podem ficar amarradas a sistemas de produção não competitivos (SCIUTO; FILHO, 2019). O sistema de produção com funcionamento eficiente está subjacente ao funcionamento eficaz de uma empresa de manufatura, bem como o funcionamento de sua cadeia de suprimentos (CYPLIK; HADAS, 2011).

Segundo Khan & Turowski (2016) Indústria 4.0 e fábrica inteligente são os termos frequentemente usados para os sistemas de produção da próxima geração.

2.1.3 Linhas de montagem

O chão de fábrica é o ponto de convergência entre o fluxo de informações, fluxo de material e o fluxo controle, presentes no sistema de produção. Nele estão fisicamente inseridos os subsistemas de produção, tais como as linhas de montagem. (ZHUANG *et al.*, 2018)

Rossit *et al.* (2019) definem uma Linha de Montagem como sendo um processo de fabricação no qual as peças (geralmente peças intercambiáveis) são transformadas conforme a montagem se move de uma estação de trabalho para outra, onde peças são adicionadas em sequência até a montagem final ser concluída.

Neste sistema de manufatura, as unidades produtivas ou estações de trabalho que realizam as operações são alinhadas em série e as peças visitam as estações sucessivamente à medida que se movem ao longo da linha (BECKER; SCHOLL, 2006).

Originalmente, as linhas de montagem foram desenvolvidas para uma produção em massa econômica de produtos padronizados, projetados para explorar uma alta especialização do trabalho e os efeitos de aprendizado associados (BOYSEN *et al.*, 2007).

No ambiente competitivo vivenciado na chamada quarta revolução industrial, as empresas devem lidar com diversas peças personalizadas para montá-las e criar modelos de produto desejados para clientes individualmente (WANG *et al.*, 2017). Neste contexto,

se faz necessário adotar o sistema de linha de montagem de modelo misto, também conhecido como a linha de montagem mista, que trata da aplicação do princípio de produção flexível no campo da produção de montagem (COHEN *et al.*, 2019).

2.2 INTERNET DAS COISAS - *IoT*

A *IoT* é reconhecida como uma das mais importantes áreas da tecnologia futura e está ganhando grande atenção de uma ampla gama de indústrias (LEE; LEE, 2015).

A *IoT* refere-se a um mundo entre redes no qual vários objetos são incorporados com sensores eletrônicos, atuadores ou outros dispositivos digitais, para que possam ser conectados em rede e conectados com a finalidade de coletar e trocar dados (ZHONG *et al.*, 2017).

Gubbi *et al.* (2013), definem a *IoT* como sendo uma evolução radical da *Internet* formando uma Rede de objetos interconectados que não apenas coletam informações do ambiente (sensoriamento) e interagem com o mundo físico (atuação / comando / controle), mas também usam os padrões existentes da *Internet* para fornecer serviços de transferência de informações, análises, aplicações e comunicações. Trata-se de uma infraestrutura de rede global que possibilita interligar objetos físicos e virtuais através da exploração dos recursos de captura e comunicação de dados (ZHANG *et al.*, 2014).

Pacchini (2019), define a *Internet* das coisas como: Tecnologia que conecta objetos (coisas) à *internet*; potencializa a eficiência dos aparelhos e complementa com novos atributos, dando a capacidade de processar e compartilhar dados entre outras máquinas com autonomia, criando uma rede que consegue se comunicar e interagir com ambientes externos e internos.

O termo *IoT*, surgiu por volta do ano de 1999, a partir de Kevin Ashton, pesquisador do Massachusetts Institute of Technology (MIT – AutoID Lab), durante um projeto com o intuito de averiguar maneiras de se otimizar o desempenho dos negócios através da interação da Tecnologia da Informação (TI) e *Internet* (GUBBI *et al.*, 2013).

Ahmed *et al.* (2017), afirma que uma das grandes características da *IoT* é a sua comunicação em tempo real. Segundo Teimoury *et.al* (2013), a *IoT* pode solucionar quatro tipos de problemas:

- Atraso para coletar informações.
- Lentidão ao acessar dados.
- Espera no recebimento de uma resposta
- Demora na atualização do sistema.

Alguns autores têm denominado a aplicação da *IoT* nas fábricas de *IIoT - Internet Industrial das Coisas*. Com a *IIoT*, mais dispositivos, incluindo produtos inacabados, serão enriquecidos com computação embutida e conectados usando protocolo padrão. Isso permite que dispositivos de campo se comuniquem e interajam uns com os outros e com controladores mais centralizados (PACCHINI, 2019).

Os custos relacionados à implementação da *IoT* vêm diminuindo ao longo do tempo. Segundo Saarikko *et al.* (2017), os valores cobrados pelo tráfego de dados foram diminuídos com as infraestruturas de redes sem fio de alta velocidade, com uma expansão de sua capacidade.

O surgimento de sensores cada vez menores e mais baratos, telefonia móvel, conexões sem fio, bem como computação em nuvem, as soluções tecnológicas têm tomado um grande impulso, e já faz parte do nosso dia a dia (PACCHINI, 2019). Segundo Zhang *et al.* (2014), o rápido desenvolvimento na comunicação, wireless e redes de Tecnologia da Informação como: Bluetooth, radio frequência, Wi-fi, entre outros, tem construído a nova era da *IoT*. Novas tecnologias autônomas emergentes estão aprimorando o monitoramento dos processos de produção em tempo real (SHROUF; MIRAGLIOTTA, 2015). Com o impulso da *IoT*, os dados, nas indústrias, estão se tornando cada vez mais acessíveis e ubíquos. (PACCHINI, 2019).

Lee e Lee (2015) identificaram cinco tecnologias de *IoT* que são amplamente usadas para uma implementação bem sucedida da *IoT* baseada em produtos e serviços.

2.2.1 Tecnologias *IoT*: Identificação por Rádio frequência – RFID

A RFID é uma ferramenta tecnológica que ajuda a expandir a *IoT* (GUERHARDT, 2019). Esta permite a identificação e captura de dados utilizando ondas de rádio, leitor e etiquetas que são capazes de armazenar mais informações que os tradicionais códigos de barras (LEE & LEE, 2015).

Berger (2016), considera a RFID, como uma tecnologia que compõe a chamada Indústria 4.0, pois possibilita a conectividade, através de etiquetas colocadas nos produtos e componentes que possuem informação dos mesmos e são identificadas por meio de rádio frequência.

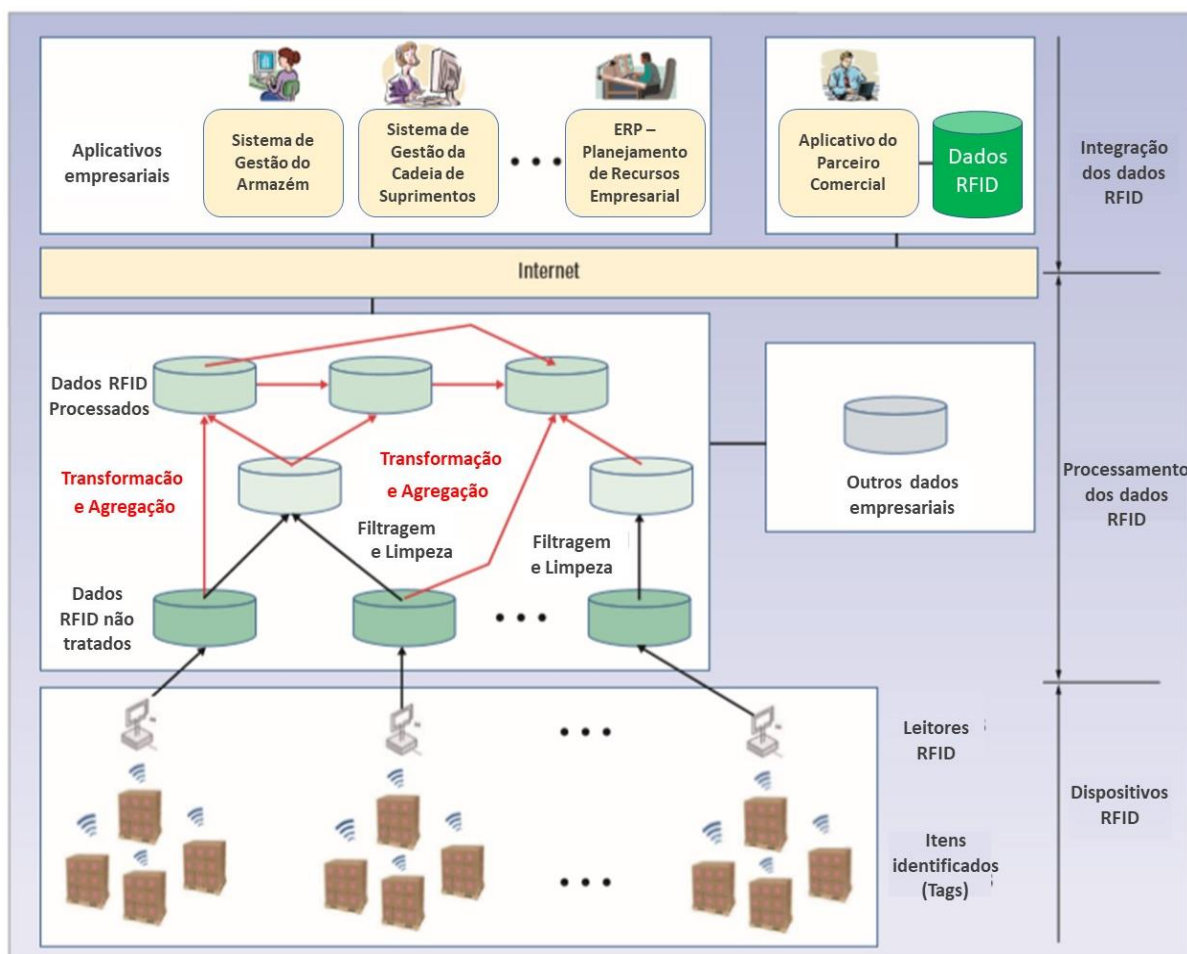
As ondas de radiofrequência são utilizadas para transmitir informações entre objetos, promovendo a automatização na identificação e comunicação entre as coisas (SHENG *et al.*, 2008). Um produto, ou uma peça com um chip RFID pode ser localizado ao passar por um ponto que exista uma antena para captar o sinal (PACCHINI, 2019).

A RFID é capaz de promover a comunicação em tempo real de objetos a distância através de ondas de rádio (REKIK e SAHIN, 2006). Na área industrial, o RFID traz inúmeros benefícios para a organização, bem como a diminuição de refugo; melhoria na visibilidade da Cadeia de Suprimentos; maior colaboração entre parceiros comerciais e incremento das vendas (BARDAKI *et al.* 2012).

Sheng *et al.* (2008) propõem um *Framework* genérico para RFID (Figura 4) onde as aplicações das Identificações por Radiofrequência interagem em três camadas:

- Dispositivos - referem-se às etiquetas (Tags) e leitores RFID, bem como os protocolos de Identificação por Radiofrequência, por exemplo, ISO 14443 e Código Eletrônico de Produto (EPC-Electronic Product Code) Classe 0 e Classe 1 - para leitura e gravação de dados RFID.
- Processamento de Dados - consiste em vários componentes de software para comunicação com leitores RFID, filtragem e limpeza de dados e adaptação desses dados para aplicativos e agregação automática de dados.
- Integração de dados - consiste em aplicativos que exploram dados RFID locais, bem como dados RFID provenientes de entidades comerciais externas.

Figura 4: Framework para interações dos dados RFID



Fonte: Sheng *et al.* (2008)

Nos últimos anos, a RFID vem emergindo como uma importante tecnologia de Auto-ID (Identificação Automática), que possui muitas vantagens, especialmente em relação à outras tecnologias como código de barras, incluindo maior distância de leitura, maior armazenamento de dados e assim por diante (ZHONG *et al.*, 2012).

Zhang *et al.* (2015) apontam que com a massiva adoção da RFID, surgem uma série de desafios que devem ser superados antes de aproveitar os seus benefícios. Esses novos desafios consistem na coleta e processamento de dados com eficiência energética em ambientes de larga escala, infraestruturas de software para dar suporte à *IoT*, modelo de interação para dispositivos móveis, aplicações inovadoras de RFID de ponta, valor de negócios e medição de desempenho, e ataques de segurança e privacidade (ZHANG *et al.* 2015).

2.2.2 Tecnologia *IoT*: Redes de sensores sem fios – WSN

AWSN (Wireless Sensor Networks) são protocolos de comunicação aprimorados, inteligentes e distribuídos para objetos autônomos por meio de sistemas de radiofrequência sem fio e várias outras tecnologias e soluções de comunicação que, em conjunto, permitem a chamada *Internet das Coisas* (ELAPPILA *et al.*, 2018). Romer *et al.* (2004) definem WSN como um dispositivo autônomo espacialmente distribuído usando-nos de sensores sem fio para monitorar condições físicas ou ambientais.

O interesse em redes de sensores sem fio (WSN) aumentou nos últimos anos, em função do aumento da demanda por serviços e aplicativos de comunicação em diversos cenários da vida comum (PADILLA *et al.* 2015). De acordo com Akyildiz *et al.* (2002), a implantação do WSN está sendo aprimorada pela necessidade de fornecer soluções específicas em termos de suporte autônomo, adaptadas para uma variedade de aplicativos em potencial.

Os sensores sem fio podem ser aplicados para verificar diversas condições, como: temperatura; pressão; umidade; níveis de ruídos; iluminação; movimento veicular; velocidade de um objeto; entre muitos outros (LOUREIRO, 2003). As redes de sensores sem fio representam uma otimização sobre os sensores tradicionais, utilizando principalmente redes que tendem a ser autônomas e requerem um elevado grau de cooperação para executar suas tarefas (AKYILDIZ *et al.*, 2002).

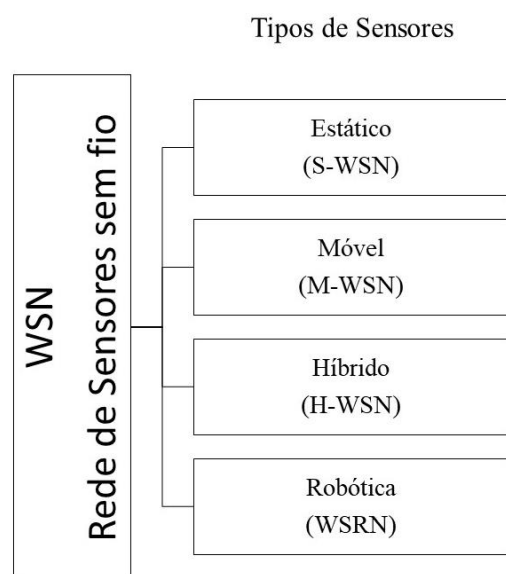
O custo dos sensores é similarmente variável, variando de centenas de dólares a alguns centavos, dependendo do tamanho da rede de sensores e da complexidade necessária para cada nó sensor e isso resulta em restrições correspondentes em recursos como energia, memória, velocidade computacional e largura de banda (Romer *et al.*, 2004)

Para Mohamed *et al.* (2017) a rede de sensores sem fio pode ser classificada em quatro categorias principais (Figura 5):

- Rede Estática de Sensores Sem Fio (S-WSN): todos os sensores implantados são estáticos;

- Rede Móvel de Sensores Sem Fio (M-WSN): os sensores são equipados com plataformas locomotivas, para que possam se mover após a implantação inicial;
- Rede Híbrida de Sensores Sem Fio: contém tanto sensores estáticos quanto sensores móveis.
- Rede Robótica de Sensores Sem Fio: ao invés de utilizar sensores móveis, robôs podem ser usados para transportar sensores estáticos

Figura 5: Tipos de sensores WSN



Fonte: Adaptado de Mohamed *et al.* (2017)

Um dos principais desafios na implantação de redes de sensores sem fio é garantir que os sensores implantados forneçam a cobertura necessária para a área de interesse, garantindo a conectividade da rede implantada (MOHAMED *et al.* 2017).

2.2.4 Tecnologia IoT: *Middleware*

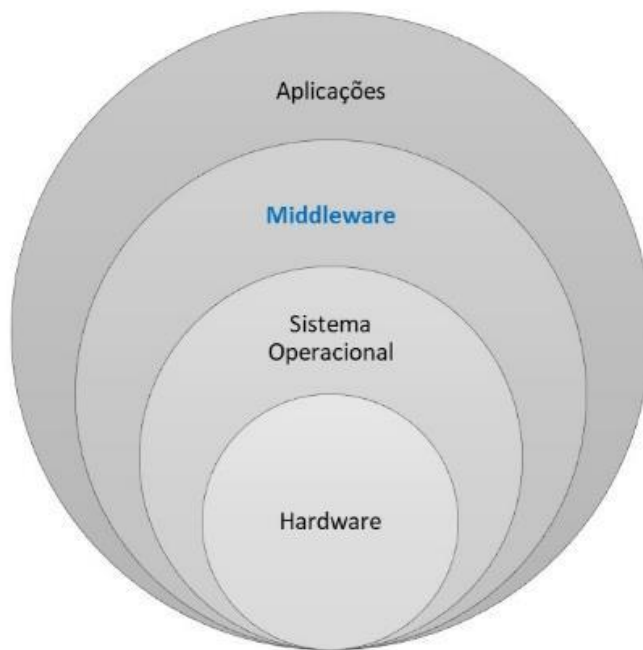
De acordo com os autores Dutta e Vandermeer (2011), a virtualização intermediária (*Middleware*) é uma parte crescente do mercado geral de tecnologia da informação. Com a implementação e aplicação da *Internet das Coisas*, o *Middleware* passa a ser um fator cada vez mais importante pois permite a execução das tarefas e aplicações de um determinado software (WEN e LI, 2013).

O termo *Middleware* refere-se ao processo de execução de aplicativos em um conjunto de recursos como, por exemplo, bancos de dados, servidores e outros recursos de serviços transacionais), de modo que a ligação entre recurso e aplicativo possa ser alterada dinamicamente. (DUTTA e VANDERMEER, 2011).

Lee & Lee, 2015 definem *Middleware* como sendo uma camada de software interposta entre aplicativos para facilitar aos desenvolvedores de software a comunicação entre as entradas e saídas.

A Figura 6 ilustra de maneira geral um cenário de virtualização intermediária, onde suas camadas consistem em software de *Middleware*, sistema operacional e hardware que o suportam e que devem ser projetados conforme necessário para satisfazer qualquer aplicação gravada em sua plataforma (DUTTA e VANDERMEER, 2011).

Figura 6: Empilhamento dos recursos de virtualização *Middleware*



Fonte: Adaptado de Dutta e Vandermeer (2011)

O *Middleware* fornece ao desenvolvedor uma interface unificada de visão e desenvolvimento, protegendo a estrutura complexa da rede de sensores, tornando o desenvolvimento de aplicativos da rede de sensores mais simples e eficiente (WEN e LI, 2013). Segundo Czauski *et al.* (2016), os serviços de *Middleware* oferecem a capacidade

de simplificar a distribuição e operação da Interface Homem-Máquina (IHM) sob demanda dos Sistemas de Controle Industrial (ICS).

Segundo Pérez e Gutiérrez (2014), o conceito de *Middleware* é considerado amplo e fornece vários recursos, tais como:

- Comunicação *Middleware*: é uma abstração dos detalhes de baixo nível relacionados à distribuição e comunicação;
- Componente *Middleware*: é baseado em um modelo formal que permite o desenvolvimento de sistemas através da montagem de módulos de software reutilizáveis (componentes) que foram desenvolvidos anteriormente por outros, independentemente da aplicação que será usada (KLEFSTAD, SCHMIDT e O'RYAN, 2002);
- Modelo Orientado *Middleware*: que se concentra principalmente em alcançar um processo de desenvolvimento sustentável em termos de custos, tempo de desenvolvimento e qualidade, combinando o componente *Middleware* com modelos de desenvolvimento de software (GOKHALE, BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2008);
- *Middleware* Adaptável: que permite a reconfiguração de aplicativos distribuídos para modificar funcionalidades, uso de recursos, configurações de segurança etc. (BLAIR *et al.*, 2001);
- *Middleware* Contexto Ciente: que é capaz de interagir com o ambiente onde os aplicativos distribuídos executam e tomam ações para fazer alterações no tempo de execução (ROUVOY *et al.*, 2009).

Novas gerações de *Middleware* precisam ser desenvolvidas para enfrentar os desafios emergentes da nova plataforma, como a aplicabilidade em ambientes hostis e remotos, a abordagem centrada no usuário de localizar e gerenciar o grande número de dispositivos, bem como a coevolução e problemas de sincronização de dados relacionados à atualização do software em diferentes dispositivos (CZAUSKI *et al.*, 2016).

2.2.5 Tecnologias *IoT*: Computação em nuvem

A computação em nuvem pode ser considerada como uma nova geração da computação, apresentando uma maneira eficiente de maximizar e flexibilizar os recursos computacionais (GUERHARDT, 2019)

De acordo com Avram (2014), a computação em nuvem representa uma convergência das duas principais tendências em tecnologia da informação: (a) eficiência de TI, na qual o poder dos computadores modernos é utilizado com mais eficiência por meio de recursos de hardware e software altamente escaláveis e (b) agilidade nos negócios, em que o IT pode ser usado como uma ferramenta por meio de rápida implantação, processamento em lote paralelo, intensivo uso de análises de negócios em computação e aplicativos interativos móveis que respondem em tempo real aos requisitos do usuário.

As tecnologia em Nuvem podem ser amplamente utilizadas na Indústria 4.0 com o objetivo de aumentar o compartilhamento de dados entre as empresas, melhorar o desempenho do sistema da informação no que diz respeito à agilidade e flexibilidade, além de possibilitar a redução de custos (LIU e XU, 2017). A maioria das aplicações de *IoT* lidam com um grande fluxo de dados, impactando a capacidade de armazenamento e a infraestrutura da Computação em Nuvem (AHMEDA *et al.*, 2017).

As organizações de todos os tipos e tamanhos estão adotando a computação em nuvem para aumentar sua capacidade em tecnologia com mínimo investimento em infraestrutura, mão de obra capacitada e licenciamento de novos softwares (ZHONG *et al.*, 2017).

Segundo Gong *et al.* (2010), as características da computação em nuvem são muito mais complexas sendo que dezenove delas podem ser usadas para distinguir sistemas de computação em nuvem dos demais sistemas, mas os autores destacam cinco delas como sendo as principais:

- Infraestrutura de computação dinâmica;
- Questionamentos centrados em serviços de TI;
- Modelo de uso baseado em autoatendimento;
- Plataforma mínima ou autogerenciada;
- Faturamento baseado em consumo;

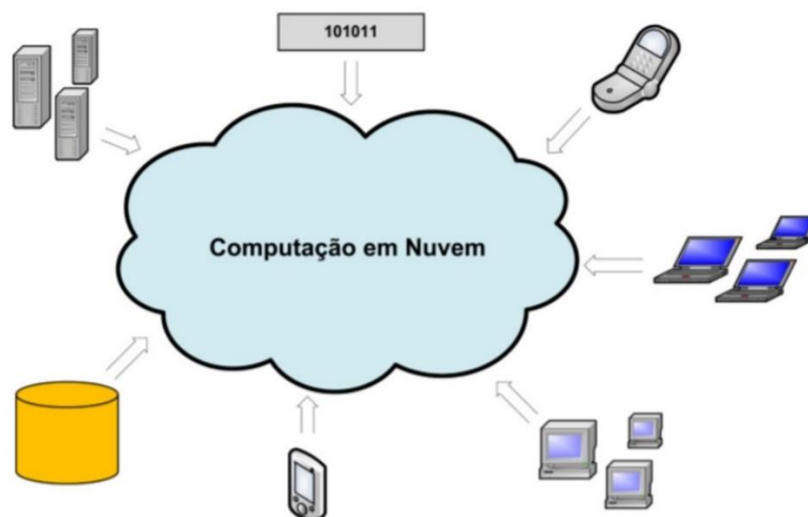
Em ambientes de computação em nuvem, o objetivo mais importante e definitivo é fornecer aos usuários serviços de *IoT* mais seguros e ricos (AHMEDA *et al.*, 2017).

Com os dados na nuvem, a fábrica tem garantida a segurança das suas informações e funcionalidades da cadeia de suprimentos, além da facilidade de acesso e descentralização dos dados (PACCHINI, 2019).

Com o rápido desenvolvimento das tecnologias de processamento e armazenamento e o sucesso da *Internet*, os recursos de computação tornaram-se mais baratos, mais poderosos e mais disponíveis do que nunca (AVRAM, 2014).

A nuvem é uma metáfora para a *Internet* ou infraestrutura de comunicação entre os componentes arquiteturais, baseada em uma abstração que oculta à complexidade de infraestrutura (SOUSA *et al.*, 2010). Cada parte desta infraestrutura é provida como um serviço e estes são normalmente alocados em centros de dados, utilizando hardware compartilhado para computação e armazenamento (BUYYA *et al.* 2009). A Figura 7 apresenta uma visão geral de uma nuvem computacional que se conecta com diferentes tipos de dispositivos e hardwares, recebendo e armazenando, assim, massiva quantidade de dados.

Figura 7: Visão Geral de uma Nuvem Computacional



Fonte: Souza *et al.* (2010)

2.2.6 Tecnologia *IoT*: Softwares para aplicação de *IoT*

Os dados obtidos das interfaces dos sensores ocorrem em tempo real, possuem um alto volume e não são estruturados, formando uma grande lacuna entre os dados coletados

e o que a gestão da produção necessita ver na camada de aplicação conceitual (CHEN *et al.*, 2015). Para satisfazer tal necessidade os autores indicam o desenvolvimento de softwares para aplicação de *IoT*. Enquanto dispositivos e redes fornecem recursos físicos para a conectividade, os aplicativos de *IoT* permitem interações entre dispositivos e entre o homem de maneira eficaz e robusta (LEE e LEE, 2015).

Puliafito *et al.* (2015) afirmam que os aplicativos de *IoT* devem interconectar dispositivos com serviços em nuvem (por exemplo, armazenamento, processamento e mensagens). Para que aplicativos de *IoT* sejam construídos de maneira inteligente, é importante que os dispositivos possam monitorar o ambiente, identificar problemas, comunicar-se entre si e, potencialmente resolver problemas sem a necessidade da intervenção de recursos humanos (LEE e LEE, 2015).

Lee e Lee identificaram três categorias de aplicações de *IoT* para empresas:

1) monitoramento e controle: os sistemas de monitoramento e controle coletam dados sobre os equipamentos desempenho ambiental, uso de energia e ambiental condições e permitir que gerentes e operadores automatizados controladores para acompanhar constantemente o desempenho em tempo real e em qualquer lugar, a qualquer hora. (LEE e LEE, 2015)

2) Big Data e análise de negócios: Ferramentas de inteligência e análise para os seres humanos tomarem decisões a partir da enorme quantidade de dados gerados pelos sensores e atuadores incorporados aos dispositivos e máquinas de *IoT*. (LEE e LEE, 2015)

3) informações, compartilhamento e colaboração: Tecnologias da informação que viabilizem o compartilhamento de informações e a colaboração entre pessoas, entre pessoas e objetos, e entre os objetos (LEE e LEE, 2015).

Para Chen *et al.* (2015), apesar da *Internet das Coisas* atrair grande interesse em muitos domínios de aplicativos relacionados ao monitoramento e controle de fenômenos físicos, o desenvolvimento destes aplicativos ainda é um dos principais obstáculos para uma ampla adoção da *IoT*. Os aplicativos *IoT*, assim como as redes sem fios (WSN) são muito influenciados por eventos imprevisíveis e por características físicas que geralmente resultam em dados imprecisos (YELAMARTHI *et al.* 2017). O desenvolvimento de aplicativos para *IoT* deve ser feito muito próximo ao sistema operacional e requer que os programadores se concentrem nos problemas de sistema de baixo nível (CHEN *et al.* 2015).

2.3 INTERNET DAS COISAS EM LINHAS DE MONTAGEM

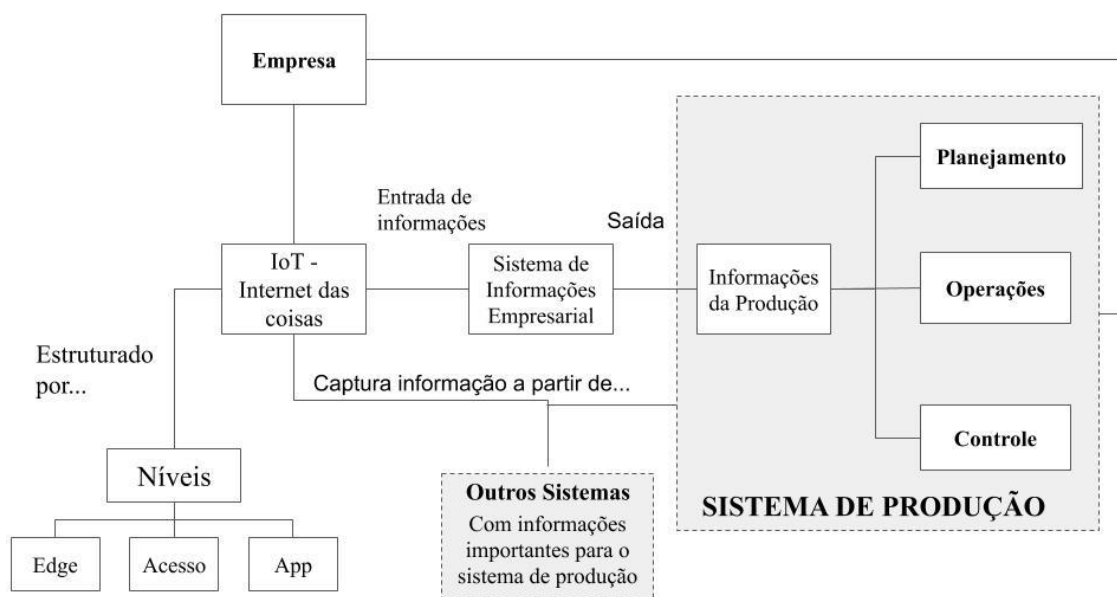
Desde sua criação nos tempos de Henry Ford até hoje ocorreram vários desenvolvimentos que mudaram as linhas de montagem (CYPLIK; HADAS, 2011). Segundo Becker & Scholl (2006), as linhas de montagem são meios tradicionais e ainda atraentes de produção em massa e em série para larga escala. Uma das mais importantes mudanças ocorridas nos últimos anos tem sido a massiva adoção de tecnologias digitais no processo produtivo, em especial a *IoT*. Boza *et. al.* (2016) sugere a adoção da *IoT* nas três tarefas chaves que compõem um sistema de produção: Planejamento, Operação e Controle.

Boza *et al.* (2016) propõem um *framework* conceitual para aplicação da *IoT* no Sistema de Produção de uma empresa de Sensores, conforme ilustrado na Figura 8. No modelo proposto, os sistemas de Informação são complementados por dados sobre o produto e que são fornecidos pela *Internet* das coisas através de três níveis: Edge, Access e App.

Segundo os autores, com base nestes conceitos, a empresa tem de contemplar a fase cuja informação deve ser melhorada (Inventário de plano, a localização do produto na operação, ambiente de produção para controle etc.). Em seguida, a empresa deve estudar os elementos necessários em cada nível de estrutura da *IoT*:

- Aplicação (App): Que tipo de aplicação é necessária? Será uma nova aplicação ou uma extensão do sistema ERP?),
- Rede de acesso (Access): Como os objetos irão se comunicar? Quantos objetos serão utilizados?
- Edge: Quais tecnologias e objetos estão em uso? Sensores serão necessários?

Figura 8: Framework conceitual para aplicação da *IoT* no Sistema de Produção



Fonte: Boza *et al.* (2016)

Contudo, o tema *IoT* em linhas de montagens ainda é pouco explorado no âmbito acadêmico, restringindo-se a trabalhos conceituais e evidenciando a lacuna de pesquisa envolvendo casos práticos reais.

2.4 MÉTRICAS DE DESEMPENHO PARA AMBIENTES DE *IoT*

Segundo Braz *et al.* (2011), a medição de desempenho é um processo quantitativo de Eficiência-que está relacionada a conformidade aos requisitos do cliente e Eficácia-que diz respeito a como a organização está utilizando seus recursos para atingir os níveis de satisfação do cliente. Para Zhu *et. al* (2018) as métricas de desempenho, também chamadas de KPI-Key Performance Indicators (Indicadores Chave de Desempenho), permitem aos operadores e tomadores de decisão evidenciar a lacuna existente entre o desempenho real e o desejado e, em seguida, tomar as medidas correspondentes para melhoria. Com isso, métricas de desempenho devem ser escolhidas, implementadas e monitoradas (BRAZ *et al.*, 2011).

Com o objetivo de facilitar e orientar a especificação e aquisição das métrica de desempenho de fabricação para a gestão de operações, a norma internacional ISO 22400 foi elaborada e estabelecida pela Organização Internacional de Padronização (ZHU *et. al*,

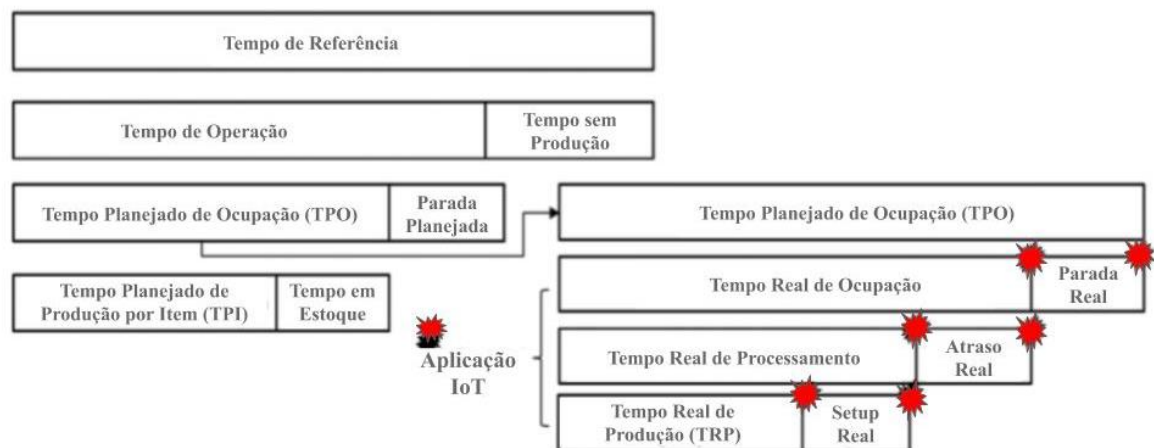
2018). A norma ISO 22400 apresenta terminologias, conceitos e 34 KPIs para o nível de Gestão de Operações de Manufatura. Esses KPIs são padronizados e, portanto, podem ser utilizados em diferentes sistemas de fabricação (FERRER *et al.*, 2018)

Para medição de desempenho em ambientes de *IoT* e Fábricas Inteligentes, Hwang *et al.* (2016) sugerem quatro dos KPIs descritos na norma ISO 22400:

- Índice de Qualidade,
- Índice de Disponibilidade,
- Índice de Eficiência
- *OEE*-Eficiência Geral do Equipamento.

Para calcular esses indicadores de desempenho, Hwang *et al.* (2016) descrevem (Figura 9) que foi necessário primeiro calcular os sub-KPIs: Tempo Planejado de Ocupação (TPO), Tempo Real de Produção (TRP), Tempo Planejado de Produção por Item (TPI), Quantidade Total Produzida (QTP) e Quantidade de Peças Boas Produzidas (QPB).

Figura 9: Sub-KPIs e a adoção da *IoT*



Fonte: Hwang *et al.* (2016)

2.4.1 Índice de disponibilidade

O Índice de Disponibilidade é uma medida de quão bem a capacidade de uma unidade de trabalho de produção é usada em relação à capacidade programada (HWANG *et al.*, 2016) e é calculado como:

$$(1) \text{ Disponibilidade} = \frac{\text{TRP}}{\text{TPO}}$$

$$(1.2) \quad \text{TPO} = \text{Tempo de Referência} - (\text{Tempo sem Produção} + \text{Parada Planejada})$$

$$(1.3) \quad \text{TRP} = \text{TPO} - (\text{Tempo Real de Parada} + \text{Atraso Real} + \text{Tempo Real de Setup})$$

Uma pontuação de 100% significa que a operação está funcionando perfeitamente sem nenhum atraso de produção (HWANG *et al.*,2016).

2.4.2 Índice de eficiência

O Índice de Eficiência é uma medida de quão eficiente é uma unidade de trabalho durante o tempo de produção e segundo Hwang *et al.* (2016) e a norma ISO 22400, deve ser calculado como:

$$(2) \text{ Eficiência} = \frac{(\text{TPI} \times \text{QTP})}{\text{TRP}}$$

$$(2.2) \quad \text{TPI} = \text{TPO} - \text{Tempo de Estoque}$$

$$(2.3) \quad \text{QTP} = \text{Número de produtos finais antes do processo de inspeção}$$

Um índice de eficiência de 100% implica que o processo real esteja sendo executado dentro do cronograma (HWANG *et al.*,2016).

2.4.3 Índice de qualidade

O Índice de qualidade é a relação entre a quantidade de peças boas produzidas (QBP) e a quantidade total produzida, incluindo as peças defeituosas (QTP). Segundo Hwang *et al.* (2016), este sub-KPI foi projetado para excluir os efeitos de Disponibilidade e Eficácia em caso de processamento de peças fora das especificações de qualidade.

$$(3) \text{ Qualidade} = \frac{\text{QPB}}{\text{QTP}}$$

2.4.4 OEE: índice de eficiência global do equipamento

OEE foi proposto inicialmente por Nakajima (1998) como a principal métrica para apoiar a Manutenção Produtiva Total (TPM), e agora é uma maneira amplamente aceita de monitorar o real desempenho de um equipamento, em relação às suas capacidades nominais sob condições ideais de funcionamento (Braglia *et. al.*, 2009).

Segundo Hwang *et al.* (2016), a Eficiência Global do Equipamento (*OEE*), é o principal KPI da norma ISO 22400, pois trata-se de um indicador único que integra a disponibilidade de uma unidade de trabalho (Índice de Disponibilidade), a eficiência da unidade de trabalho (Índice de Eficiência) e a integridade dos bens produzidos (Índice de Qualidade).

$$(4) \text{ OEE} = \text{Índice de Disponibilidade} \times \text{Índice de Eficiência} \times \text{Índice de Qualidade}$$

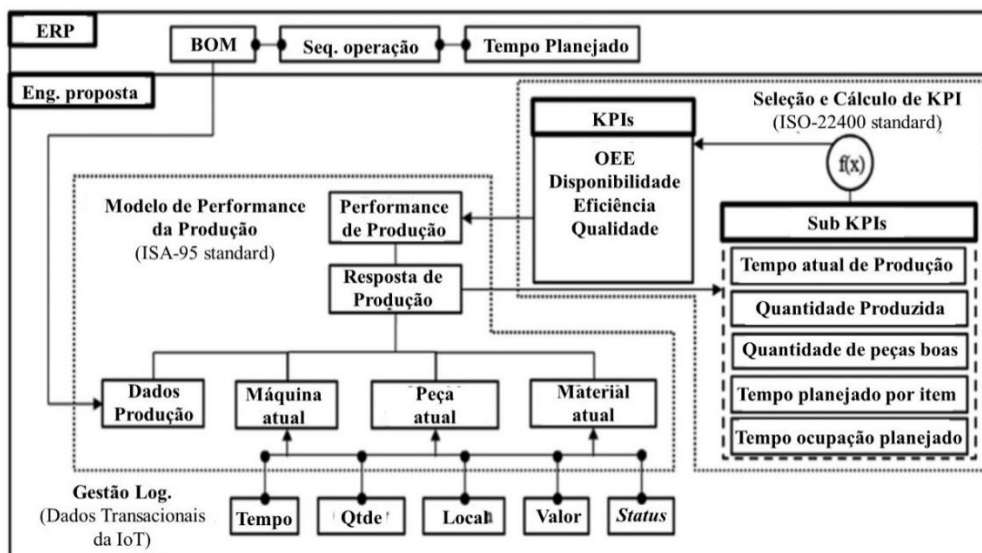
Atualmente, o *OEE* foi adotado em vários campos industriais como principal métrica de eficiência (Braglia *et al.*, 2009). Ele categoriza as principais perdas ou razões para o mau desempenho e, portanto, fornece a base para definir prioridades de melhoria e direciona a análise da causa raiz (Muchiri & Pintelon, 2008).

A Figura 10 mostra o modelo de desempenho de produção baseado em IoT desenvolvido por Hwang *et al.* (2016). Neste modelo, o dispositivo IoT detecta o produto na linha de produção, envia os dados do produto para o MES e alinha as informações com o modelo de desempenho da produção, que consiste em três subpartes: equipamento real, material produzido real e o material consumido real.

Para Hwang *et al.* (2016) os KPIs que não podem ser avaliados utilizados os dados da IoT, outras fontes são necessárias para dados adicionais, como dados de produção alinhados com a lista técnica, sequência de operação e tempo de operação planejado, obtidos no sistema superior (ERP). Usando dados planejados e reais, a partir das fontes

de IoT e ERP é possível realizar o cálculo dos sub-KPIs. A resposta de produção usa os sub-KPIs para calcular os KPIs finais.

Figura 10: Modelo de desempenho de produção baseado em *IoT*



Fonte: Hwang *et al.* (2016)

Neste modelo foram consideradas as normas ISO-22400 e a ISA-95 que é a norma desenvolvida pela Sociedade Internacional de Automação (ISA) em conjunto a Comissão Internacional Eletrotécnica (IEC) e que especifica os fluxos de dados e as interfaces entre os sistemas de fabricação.

2.4.5 Justificativa para a escolha da métrica *OEE* para os estudos de caso

Outros estudos, como os realizados por Vandikas *et al.* (2014), Solic *et al.* (2017) e Cruz *et al.* (2018), discutiram métricas para avaliar a performance da operação das tecnologias *IoT* em si, tais como: RFID e *Middleware*, ou seja, não focaram nos efeitos da *Internet* das Coisas no desempenho da produção.

Um *framework* baseado na *IoT* para medição de desempenho foi proposto por Razei *et al.* (2017). Porém, tal *framework* tem sua aplicação voltada exclusivamente à gestão da cadeia de suprimentos e, portanto, não seria compatível com a realização deste trabalho onde o foco está na produção de autopeças, mais especificamente em linhas de montagens.

Zhou *et al.* (2017) exploraram o efeito da mudança organizacional no projeto de desenvolvimento da *IoT* considerando os custos de investimento e futuros benefícios previstos com a implementação das tecnologias da *IoT*. Entretanto, a utilização desta pesquisa foi refutada em função da indisponibilidade dos dados financeiros requeridos para a aplicação deste estudo em casos do mundo real.

Com tudo, justifica-se a escolha do modelo proposto por Hwang *et al.* (2016), detalhando neste subcapítulo, aplicando o *OEE* como uma métrica viável para ambientes de *IoT* por tratar-se de um índice que pode ser avaliado diretamente usando os dados da *IoT*; nem todos os KPIs tem a mesma viabilidade e outras fontes são frequentemente necessárias para dados adicionais.

3. METODOLOGIA

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE *IoT*

A revisão bibliográfica sistemática (RBS) pode ser descrita como um método científico de pesquisa a fim de buscar e analisar artigos de uma determinada área da ciência para que, através do conhecimento acumulado pelos pesquisadores, seja possível responder a uma lacuna específica da literatura (CONFORTO *et al* 2011).

Para o presente estudo, a RBS teve como finalidade identificar gaps de pesquisa relacionados aos Impactos da *IoT* em linhas de montagem. Para tanto, sete etapas foram seguidas, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Etapas para revisão bibliográfica sistemática sobre IoT

Etapas	Descrição das Etapas da revisão bibliográfica
1	Definir a questão de pesquisa;
2	Determinar os estudos que precisam ser localizados a fim de responder à questão de pesquisa;
3	Realizar a pesquisa abrangente de artigos nas bases de dados;
4	Filtrar os artigos encontrados por meio de critérios de seleção;
5	Avaliar criticamente os artigos selecionados na etapa anterior;
6	Sintetizar os estudos e avaliar sua heterogeneidade;
7	Apresentar os resultados da revisão sistemática da literatura

Fonte: Adaptado de Oliveira Neto (2018)

Para que fosse possível definir a questão de pesquisa, primeiramente definiu-se as palavras-chave para busca nas bases de dados. Em seguida, com o objetivo de buscar o maior número de artigos referente ao tema, as palavras foram agrupadas formando dez conjuntos de pesquisa, com operador “*and*”, detalhados no Quadro 2.

Quadro 2: Conjuntos de pesquisa formados a partir das palavras chave

#	Conjunto de Pesquisa
1	"Internet of Things" and "Effects"
2	"Internet of Things" and "Assembly Line"
3	"Internet of Things" and "Study Case"
4	"Internet of Things" "Framework"
5	"Internet of Things" and "Auto parts"
6	"Industry 4.0" and "Effects"
7	"Industry 4.0" and "Assembly Line"
8	"Industry 4.0" and "Study Case"
9	"Industry 4.0" and "Framework"
10	"Industry 4.0" and "Auto parts"

Fonte: Adaptado de Oliveira Neto

O Quadro 3 apresenta as bases de dados utilizadas para encontrar os artigos publicados referentes ao tema desta pesquisa, bem como os endereços eletrônicos.

Quadro 3 - Bases de dados utilizadas na pesquisa

Base de Dados	Endereço eletrônico
Capex	http://www.periodicos.capes.gov.br
Google Academico	https://scholar.google.com.br
Science Direct	http://www.sciencedirect.com
Emerald	http://www.emeraldinsight.com
Ebsco	https://www.ebsco.com
Scielo	http://search.scielo.org/
Taylor & Francis	http://www.taylorandfrancis.com
Proquest	https://www.proquest.com

Fonte: Adaptado de Oliveira Neto

Os seguintes critérios de buscas foram considerados:

- Busca avançada das palavras-chaves nos seguintes campos:
 - Resumo
 - Título
 - Palavras-chaves

Busca avançada das palavras-chaves somente em artigos científicos (periódicos científicos).

A busca bibliográfica nas bases de dados por estudos relacionados ao tema alcançou um total de 294 artigos. No entanto, foram desconsiderados 187 artigos com escopo divergente do tema, 13 artigos não científicos (sem referência ou com fim comercial) e 56 os artigos duplicados. Na Tabela 1 o número total e a porcentagem de arquivos baixados e selecionados são apresentados.

Tabela 1: Demonstrativo da quantidade de artigos analisados

Artigos Analisados	Quantidade	Porcentagem
Artigos Selecionados	38	13%
Artigos Descartados	256	87%
Total	294	100%

Fonte: Adaptado de Oliveira Neto

Com relação aos 38 artigos selecionados não foi identificado um periódico com maior expressão quanto ao número de publicações, sendo os de maior quantidade: INDUSTRIAL MANAGEMENT & DATA SYSTEMS e BUSINESS HORIZONS, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Publicações por periódicos

Periódicos	Quantidade
INDUSTRIAL MANAGEMENT & DATA SYSTEMS	2
BUSINESS HORIZONS	2
ENGINEERING	1
SHS WEB OF CONFERENCES	1
PERVASIVE AND MOBILE COMPUTING	1
BRAZILIAN JOURNAL OF OPERATIONS & PRODUCTION MANAGEMENT	1
WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING,	1
EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	1
JOURNAL OF OPERATIONS MANAGEMENT	1
FRONTIERS OF COMPUTER SCIENCE	1
SCIENTIFIC JOURNAL OF LOGISTIC	1
FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS,	1
THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY	1
IEEE INDUSTRIAL CYBER-PHYSICAL SYSTEMS (ICPS)	1
PROCEDIA MANUFACTURING	1
IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS	1
INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY	1
INTERNATIONAL CONFERENCE ON <i>INTERNET</i> OF THINGS AND BIG DATA	1
OPTIMIZATION LETTERS	1
INTERNATIONAL JOURNAL AGILE SYSTEMS AND MANAGEMENT	1
PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON <i>INTERNET</i> OF THINGS AND BIG DATA – IoTBD	1
INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY	1
SENSORS	1
INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING	1
THE BOSTON CONSULTING GROUP	1
INTERNATIONAL JOURNAL OF DISTRIBUTED SENSOR NETWORKS	1
THE INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS MANAGEMENT	1
INTERNATIONAL JOURNAL OF OPERATIONS & PRODUCTION MANAGEMENT	1
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	1
INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH	1
COMPUTER NETWORKS	1
JOURNAL OF ENGINEERING MANUFACTURE	1
FRONTIERS OD MECHANICAL ENGINEERING	1
IEEE COMPUTER SOCIETY	1
JOURNAL OF MANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING	1
JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING	1
Total Geral	38

Fonte: Elaborado pelo autor

O quadro 4 abaixo mostra a contribuição dos artigos selecionados.

Quadro 4 – Contribuição dos artigos selecionados

Título	Autores	Este artigo apresenta resultados da implementação da IoT?	A pesquisa apresenta um Framework para IoT?	Apresenta tecnologias habilitadoras da IoT?	A pesquisa menciona diretamente sobre Indústria 4.0?	Menciona estudos de casos na indústria de auto peças?	O artigo apresenta ganhos financeiros?
Advantages and challenges of adopting cloud computing from an enterprise perspective.	AVRAM, M. <i>et al.</i>			X			
Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis.	LIU, Y. <i>et al.</i>			X	X		
The Characteristics of Cloud Computing	GONG, C.			X			
Towards the Integration between IoT and Cloud Computing	PULIAFTO, A. <i>et al.</i>		X	X			
An Application-Driven Modular IoT Architecture.	VELAMARTHI, K. <i>et al.</i>		X	X			
Runtime model-based approach to IoT application development.	CHEN, X. <i>et al.</i>	X	X	X			
Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework	ZHENG, P. <i>et al.</i>		X	X			
Real-time information capturing and integration framework of the internet of manufacturing	ZHANG, Y. <i>et al.</i>	X	X	X			
Digital twin-based smart production management and control framework for the	ZHUANG, C. <i>et al.</i>		X	X			
Performance Analysis of IoT-Based Sensor, Big Data Processing, and Machine Learning Model	SYAFERUDIN, M. <i>et al.</i>	X		X	X	X	
Performance evaluation of IoT middleware	CRUZ, M. <i>et al.</i>	X		X			
Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production systems	KHAN, A. <i>et al.</i>				X		
A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept.	PEREIRA, A. <i>et al.</i>				X		
IoT-based framework for performance measurement A real-time supply chain decision	REZAEI, M. <i>et al.</i>		X	X			
Computação em Nuvem: Conceitos, Tecnologias, Aplicações e Desafios.	SOUZA, F. <i>et al.</i>			X			
Gen2 RFID as IoT enabler: characterization and performance improvement.	SOUJC, P. <i>et al.</i>	X		X			
Energy management based on Internet of Things: practices and Framework for adoption in	SHROUF, F. <i>et al.</i>		X	X			
The Internet of Things: Are you ready for what's coming?	SAARIKKO, T. <i>et al.</i>			X			
Performance Evaluation of an IoT Platform. 8th International Conference on Next Generation	VANDIKAS, K. <i>et al.</i>	X	X	X			

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 4 - Contribuição dos artigos selecionados

Titulo	Autores	Este artigo apresenta resultados da implementação da IoT?	A pesquisa apresenta um framework para IoT?	Apresenta tecnologias habilitadoras da IoT?	A pesquisa mediona diretamente sobre Indústria 4.0?	Menciona estudos de casos na indústria de auto peças?	O artigo apresenta ganhos financeiros?
The role of big data analytics in Internet of Things	AHMEDA, E. <i>et al.</i>			X			
RFID-Enabled Services in the Retail Supply Chain: Lessons Learned toward the Internet of Things.	BARDAKI, C. <i>et al.</i>			X			
Conceptual framework for applying internet of things in production systems for sensing	BOZA, A. <i>et al.</i>		X	X			
Assembly systems in industry 4.0 era: a road map to understand Assembly 4.0.	COHEN, Y. <i>et al.</i>	X		X	X		
Industry 4.0: the future of productivity growth in manufacturing industries	GERBERT, P. <i>et al.</i>	X			X		
Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions.	GUBBI, J. <i>et al.</i>		X	X			
Runtime model-based approach to IoT application development.	HWANG, G. <i>et al.</i>	X					
An Industry 4.0 approach to assembly line resequencing	ROSSI <i>et al.</i>		X				
The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and challenges for enterprises.	LEE e LEE			X			
Enabling Next Generation RFID Applications: Solutions and Challenges	SHENG, Q. <i>et al.</i>			X			
The Design Space of Wireless Sensor Networks	ROMER, K. <i>et al.</i>			X			
Performance Analysis of Different Link Layer Protocols in Wireless Sensor Networks	PADILLA, E. <i>et al.</i>			X			
Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review.	ZHONG, R. <i>et al.</i>			X	X		
Smart manufacturing: characteristics, technologies and enabling factors.	MITTAL, S. <i>et al.</i>			X			
Coverage in mobile wireless sensor networks (MWSN): A survey.	MOHAMMED, S. <i>et al.</i>			X			
A service-integrated sensor network middleware applied to industrial solutions of IoT related.	WIEN, Y. <i>et al.</i>		X	X			
Middleware for IoT human machine interfaces	CZAUSKI, T. <i>et al.</i>		X	X			
A Survey on Standards for Real-Time Distribution Middleware.	PÉREZ, H. <i>et al.</i>			X			
Towards Highly Configurable Real-time.	KLEFSTAD, R. <i>et al.</i>			X			

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 METODOLOGIA: ESTUDOS DE CASO

Para lidar com a crescente frequência e magnitude das mudanças em tecnologias e métodos de Gestão de Operações, pesquisadores têm apelado para um maior emprego de métodos de pesquisa baseados em campo (LEWIS, 1998). O estudo de caso tem sido consistentemente um dos mais poderosos métodos de pesquisa em Gestão de Operações, particularmente no desenvolvimento de novas teorias (VOSS *et al.* 2002).

Cauchick & Sousa (2012) definem o estudo de caso como sendo um estudo de natureza empírica que investiga um determinado fenômeno, geralmente contemporâneo, dentro de um contexto real de vida, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto em que ele se insere não são claramente definidas.

De acordo com Voss *et al.* (2002) um estudo de caso é uma história de um fenômeno passado ou atual, elaborado a partir de múltiplas fontes de evidências. O autor acrescenta que o método pode incluir dados de observação direta e entrevistas sistemáticas, bem como arquivos públicos e privados.

A principal tendência em todos os tipos de estudo de caso, é que estes tentam esclarecer o motivo pelo qual uma decisão ou um conjunto de decisões foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados alcançados (YIN, 2001).

Meredith (1998) cita três pontos fortes acerca da metodologia estudo de caso:

(1) O fenômeno pode ser estudado em seu ambiente natural e, principalmente a teoria relevante é gerada a partir da compreensão adquirida através da observação prática.

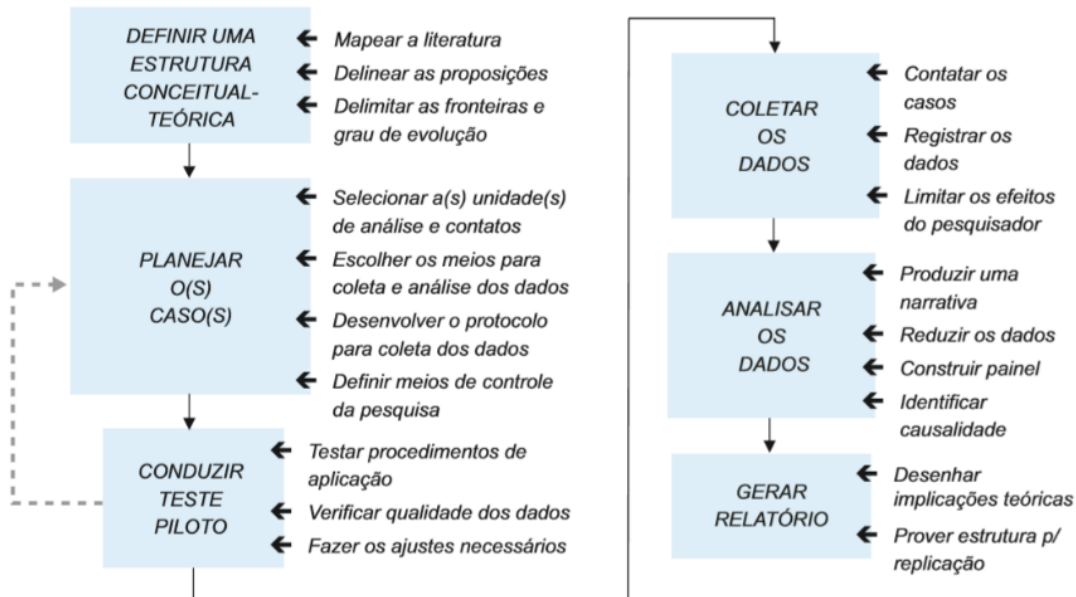
(2) O método estudo de caso permite que as questões de pesquisa possam ser respondidas com uma compreensão relativamente completa da natureza e complexidade do fenômeno.

(3) O método tem o foco inicial nas investigações exploratórias onde as variáveis ainda são desconhecidas e onde o fenômeno não é de todo compreendido.

Cauchick & Sousa (2012) propõem uma sequência para a condução de um estudo de caso e que pode ser vista na Figura 11. Primeiramente, os autores sugerem a definição de uma (1) Estrutura Conceitual Teórica; Em seguida, deve ser realizado o (2)

Planejamento dos Casos. Na sequência os autores indicam (3) Conduzir testes Pilotos e (4) Coletar os Dados. Por fim, (5) Analisam-se os dados e (6) o relatório final é gerado.

Figura 11: Condução do Estudo de Caso



Fonte: Cauchick & Sousa (2012)

O Estudo de Caso enriquece não só a teoria, mas também os próprios investigadores, pois durante o processo de condução da pesquisa, são expostos à problemas reais, aos insights criativos de pessoas em todos os níveis das organizações estudadas e aos contextos variados dos casos (VOSS *et al.* 2002).

Para selecionar as empresas para os estudos de casos foram adotados os seguintes critérios de seleção:

- 1) As empresas precisariam ter em seu sistema de produção linhas de montagem onde foram implementadas tecnologias da IoT.
- 2) As empresas deveriam permitir acesso às suas instalações e às informações relacionadas a este estudo.

Atendendo a estas condições, este trabalho considerou fábricas de autopeças que estavam dispostas a participar do estudo e interessadas no resultado da pesquisa.

4. RESULTADOS

A questão que este estudo de caso pretende abordar é quais os impactos nos indicadores de desempenho das fábricas de autopeças com a implementação da *IoT* em suas linhas de montagem? O objetivo é entender quais tecnologias *IoT* as fábricas estudadas estão utilizando e quais impactos foram percebidos em seus indicadores de desempenho. Tais respostas representariam um passo significativo na direção da implantação da *IoT* nas linhas de montagens das empresas de autopeças que decidirem implementar.

Para a definição do número de casos a serem analisados, Yin (2010) sugere a estratégia de replicação literal, onde são assumidos resultados similares para os diversos casos estudados, sendo assim, suficiente o estudo de dois ou três casos.

Dessa forma, com base nos critérios estabelecidos e com a expectativas dos resultados serem semelhantes entre os casos, foram selecionadas três fábricas de autopeças de grande porte. Todas pertencentes à um mesmo grupo empresarial de capital estrangeiro. Das várias empresas consultadas, está foi a única que se enquadrou nas condições previamente estabelecidas: ser do ramo de autopeças, ser de grande porte, possuir linhas de montagens e tecnologias *IoT* implementadas. Isso possibilitou maior acesso às informações e viabilizou o total acesso às instalações fabris. Entretanto, são fábricas distintas ao passo que são independentes entre si no que diz respeito à gestão da produção, estão localizadas em diferentes cidades, atendem diferentes clientes e fabricam produtos diferentes.

Os detalhes relacionados as fábricas, produtos e tamanho da empresa são apresentados no Quadro 5. Letras iniciais do alfabeto foram utilizadas para garantir o anonimato e confidencialidade da empresa estudada. Os dados para esta pesquisa foram coletados por meio de entrevistas semiestruturadas, interação, observação pessoal, conversas informais, consulta de arquivos da empresa e coleta de dados objetivos. Um questionário foi utilizado como instrumento de pesquisa durante as entrevistas (apêndice 1).

Quadro 5 - Introdução aos casos estudados

	Caso A	Caso B	Caso C
Tipo de produto	Sistemas de transmissão automotiva	Sistemas de iluminação automotiva	Sistemas de refrigeração automotiva
Porte da empresa	Grande	Grande	Grande
Número de funcionários	900	654	1400
Faturamento anual (R\$)	216 milhões	180 milhões	218 milhões
Variedade de produtos	2	2	8
Customização oferecida em cada produto	Padrão	Padrão	Padrão

Fonte: Elaborado pelo Autor

A aquisição e tratamento dos dados pesquisados em campo foram igualmente realizados para as três fábricas estudadas. Os seguintes passos foram realizados:

- Pesquisa preliminar: busca por informações sobre a empresa estudada através do site da empresa e site de busca, afim de compreender previamente quais são os produtos oferecidos pela empresa, quem são seus principais clientes e verificar se há informações que possam evidenciar o posicionamento da empresa frente aos desafios da 4ª revolução industrial.
- Contato Inicial: Envio de mensagem eletrônica para cada um dos contatos principais das fábricas contendo uma apresentação em formato .pdf para explicar o motivo da pesquisa e solicitar a participação nos estudos.
- Agendamento: Definição de data e horário para visitar as instalações e realizar a entrevista presencial com o gestor responsável pela implementação da *IoT*.
- Pesquisa em Campo: Visita à fábrica para observação e entendimento macro do processo produtivo e entrevista presencial com aplicação do questionário desenvolvido para esta pesquisa.
- Análise dos dados: transcrição das respostas da entrevista; compilação dos resultados dos indicadores de desempenho; comparação e análise dos resultados obtidos nos três casos.

- Ajustes finais: envio de mensagem eletrônica, contato telefônico ou videoconferência para esclarecimentos adicionais.
- Conclusão: Elaboração de relatório para compor este trabalho; envio do relatório com os resultados individuais de cada gestor; envio de e-mail para agradecimento às empresas estudadas pela importante contribuição com o meio acadêmico.

Antes das visitas às fábricas estudadas, os entrevistados já foram informados dos objetivos da pesquisa, nos detalhes das informações necessárias e nos possíveis recursos necessários. A busca de dados se concentrou nas últimas etapas do sistema de produção das filiais, mais especificamente nas linhas de montagem do produto. Os principais pontos de contato nas fábricas foram:

- Caso A: o Gerente Industrial, profissional formado em engenharia mecatrônica, com mais de 20 anos de experiência na indústria automotiva, sendo 17 deles na empresa estudada. Atuou como líder do projeto de *IoT* em questão.
- Caso B: Gerente de Métodos e Processos, formado em engenharia automobilística com mais de 20 anos de experiência e três anos na fábrica B, tendo participado ativamente no projeto de implementação das tecnologias *IoT* na linha de montagem estudada.
- Caso C: Gerente de Melhoria Contínua, formado em engenharia de produção, atua há 13 anos na fábrica C e colaborou no projeto de implementação das tecnologias da *IoT* em diversas linhas de montagem da empresa.

Em média, duas visitas foram necessárias para cada linha de montagem estudada, cada uma com duração de duas a três horas. Informações adicionais foram obtidas por meio de observação direta no sistema de produção e através de documentos e site da empresa. Além disso, foram realizadas chamadas telefônicas e videoconferências para obter esclarecimentos adicionais.

Para que a coleta de dados ocorresse de forma equivalente para os três casos, utilizou-se um roteiro para o levantamento das seguintes informações:

- Dados sobre a empresa: número de funcionários, faturamento anual e tipos de produtos fabricados.

- Sobre o processo de fabricação: principais etapas do processo macro e de montagem, configuração das linhas de montagem e quantidade de postos de trabalhos.
- Sobre a implantação da *IoT*: tecnologias implementadas, fases de implementação e tempo total para execução do projeto.
- Sobre os efeitos da *IoT* na linha de montagem: índices de disponibilidade, eficiência, qualidade e *OEE*, conforme foi detalhado no subcapítulo 2.6.

4.1 ESTUDO DE CASO – FÁBRICA “A”

4.1.1 - Introdução à Fábrica “A”

O caso A é uma grande unidade de fabricação e montagem de sistemas de transmissão da empresa de autopeças de um grande grupo industrial. A fábrica conta com aproximadamente 900 funcionários e possui 17 linhas de montagem. Seus produtos são padronizados e produzidos em grande volume. O principal produto da empresa “A” consiste no conjunto de embreagem, sendo este um componente crítico para transmissão de energia no automóvel. Portanto, a qualidade do produto é um parâmetro importante para a empresa.

Apesar do baixo crescimento no mercado nos últimos anos, a empresa segue a estratégia de liderança e rápida resposta aos seus clientes, investindo em capacidade instalada suficiente para atender ao aumento de demanda futuro. Há pressão para reduzir o custo, pois o mercado é extremamente competitivo.

A fábrica está instalada no interior de São Paulo há aproximadamente 100 quilômetros de distância da capital. Sua localização foi escolhida para aproveitar o bom escoamento da produção, através da malha viária privilegiada que há na região. Outro motivo foi o subsídio fiscal promovido pela administração pública local.

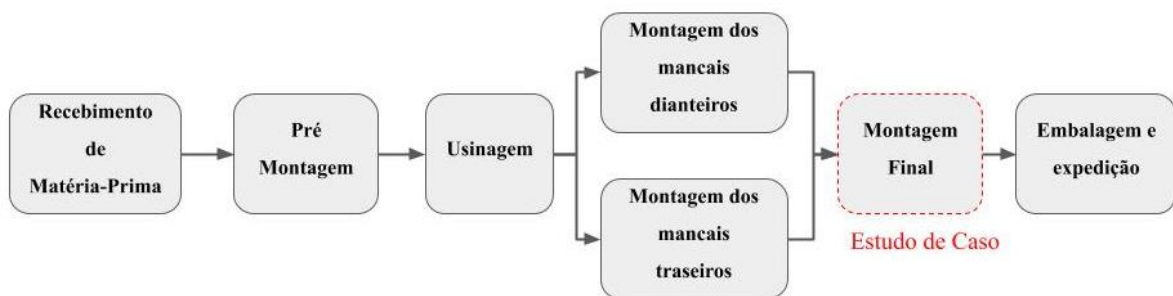
4.1.2 - Processo de fabricação na Fábrica “A”

A montagem completa das peças é feita na linha e todos os produtos acabados são fornecidos às principais montadora de automóveis no Brasil e Argentina. Muitas iniciativas são tomadas no sentido de práticas de melhoria contínua visando o aumento da qualidade e a redução de custos.

O processo produtivo (Figura 12) é dividido em 6 etapas principais:

- Montagem dos rotores.
- Usinagem dos rotores.
- Montagem dos mancais (dianteiro e traseiro).
- Montagem Final (onde o estudo é realizado).
- Teste elétrico.
- Embalagem.

Figura 12: Fluxograma - uma visão geral do processo da Fábrica "A"

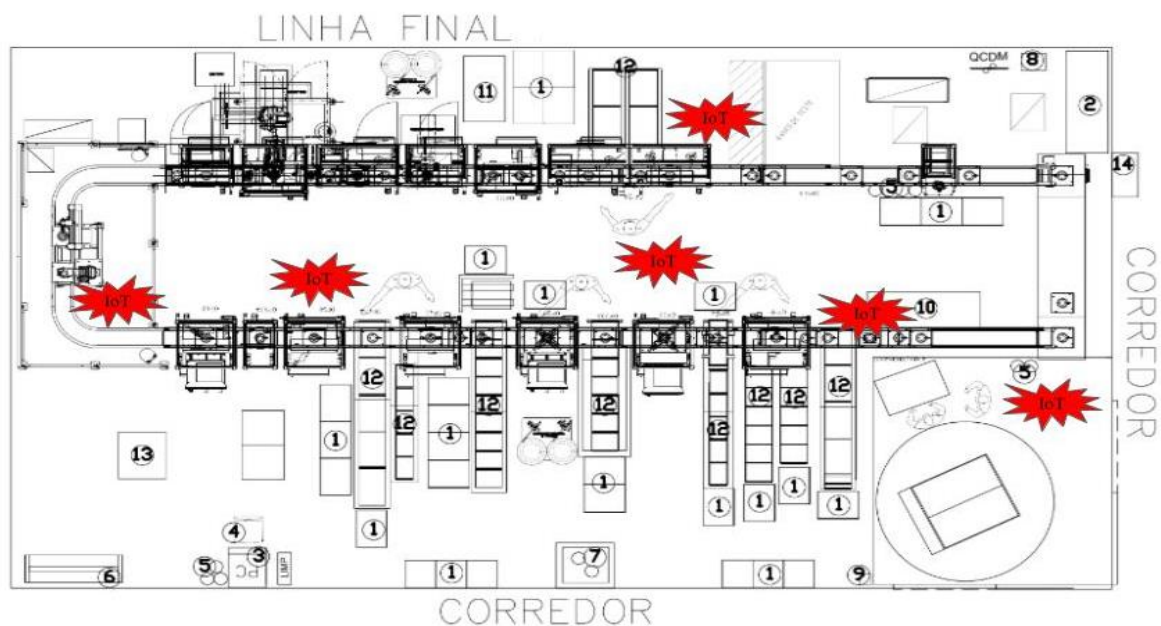


Fonte: Adaptado da empresa "A"

4.1.3 - *IoT* na Fábrica "A"

A implementação da *IoT* se deu em diversos pontos do processo produtivo, como será explicado neste item. Entretanto, uma das linhas de montagem final (Figura 13), foi escolhida pela empresa para ser pioneira no uso das tecnologias *IoT*.

Figura 13: Layout da linha de montagem estudada na fábrica "A"



Fonte: empresa "A"

Para a adoção da *IoT*, não só em linhas de montagem mas também para os demais processos de fabricação, desde o ano de 2015 a empresa conta com uma iniciativa corporativa denominada de *Factory of the Near Future* (do inglês, Fábrica do Futuro Próximo) que visa definir quais tecnologias suas fábricas devem implementar nos próximos anos. Para guiar tal implementação a Empresa possui um framework voltado aos conceitos da Indústria 4.0, ilustrado na Figura 14 e descrito abaixo.

O *Framework* da empresa foca a implementação da *IoT* em 6 etapas que envolvem o processo produtivo:

- PCP - Planejamento e controle da produção, faz a interface entre os diversos clientes, a linha de montagem final, o estoque de matéria prima e a expedição. Neste ponto inicial do processo, as necessidades dos clientes são traduzidas em ordens de produção para a fábrica. Para que estas informações cheguem com mais velocidade e sem divergências, um sistema eletrônico conectado à *internet* sem fios e uma tela touchscreen são instalados nas linhas de produção.
- Gestão de Matéria Prima: diariamente, um operador logístico realiza o inventário físico nas principais matérias primas da Empresa A. Essa tarefa é feita utilizando um Tablet conectado à rede Wi-fi da empresa. Através de um aplicativo *Middleware* instalado no dispositivo móvel, os dados

coletados nessa etapa são confrontados com as necessidades de demanda informada pelos clientes e repassadas pelo PCP. Em seguida, o um software analisa se o estoque de materiais é suficiente. Caso não seja suficiente, um pedido de compras é automaticamente enviado ao fornecedor, informando a quantidade e o prazo de entrega necessário.

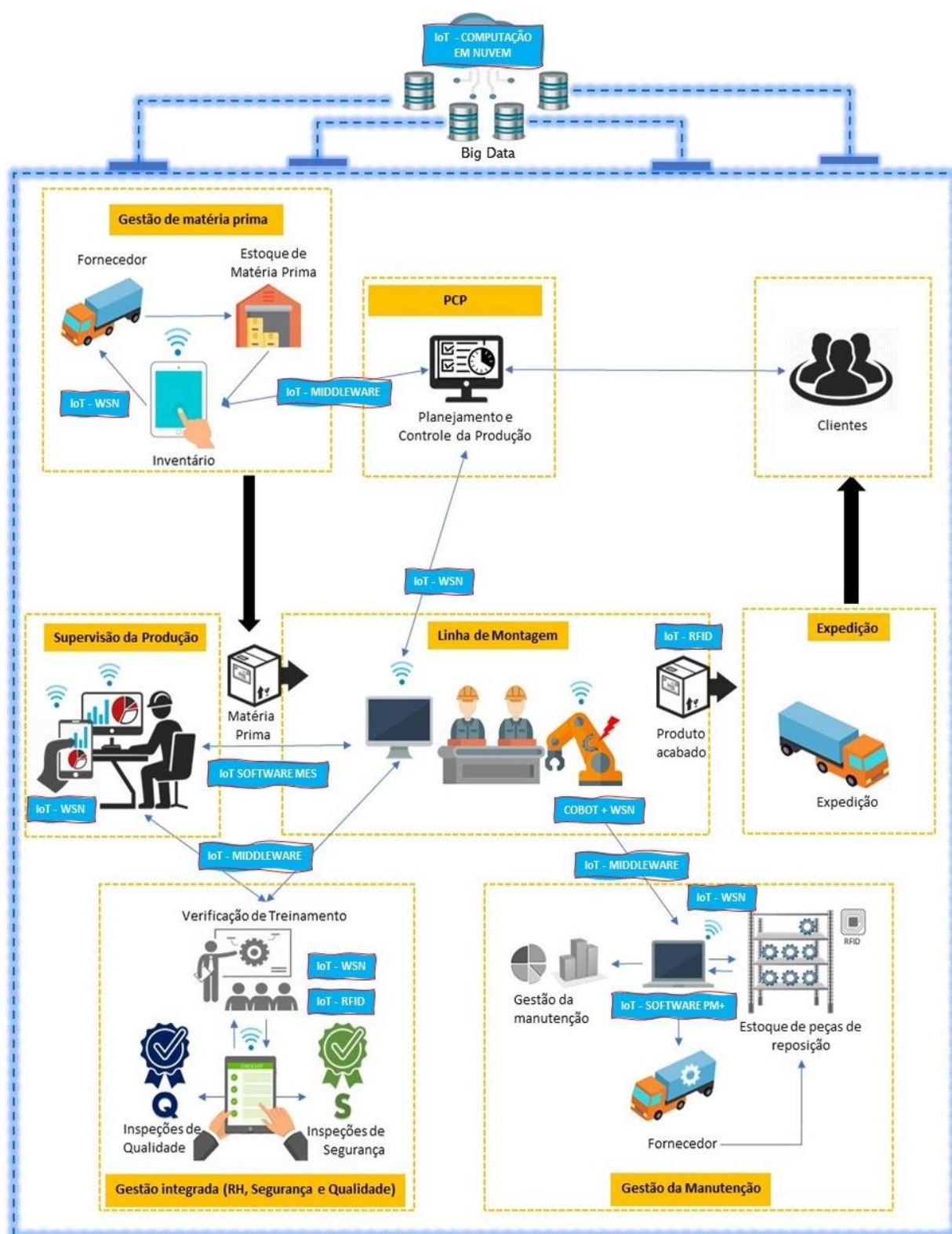
- **Produção:** as ordens de produção enviadas pelo PCP permitem que a linha tenha uma visão clara do que realmente precisa ser produzido. A quantidade requerida também é controlada para evitar um excesso de processamento. Conforme as peças vão sendo montadas, o PCP recebe em tempo real o status da produção e consegue reagir rápido caso alguma linha atrase a programação. Nas linhas de produção também são instalados dispositivos e Cobots) com sensores conectados à rede sem fio (WSN) capazes de informar ao departamento de manutenção se o equipamento está com algum tipo de falha mecânica ou elétrica.
- **Supervisão da Produção:** através do sistema MES é possível supervisionar as linhas de produção em tempo real e à distância. Em caso de queda no desempenho, o próprio sistema aciona os níveis hierárquicos a fim de buscar uma rápida reação e retomada dos níveis de eficiência esperados.
- **Gestão Integrada:** as áreas de suporte à produção tais como Recursos Humanos (RH), Segurança e Qualidade também estão conectadas às linhas de montagem por meio de um aplicativo instalado em um computador com Wi-fi. Toda documentação e processos que tradicionalmente são feitos em planilhas e compartilhadas de maneira física com a impressão de papel, são substituídas por aplicativos e dispositivos conectados à *internet*. No caso do RH, as informações relacionadas à treinamento dos operários ficam disponíveis nos computadores das linhas e possuem interfaces com os postos. Para dar início à montagem de uma peça, a pessoa precisa ser identificada através de uma etiqueta RFID instalada em seu crachá. O computador busca o nome do operador na base de dados, verifica se a situação dele está regular. Caso contrário, dispositivos físicos são acionados na linha impedindo que funcionários sem a devida capacitação trabalhem na linha. Para o departamento que cuida da segurança dos colaboradores, o *IoT* atua na prevenção de acidentes por meio de checklists eletrônicos que são preenchidos diariamente pelos próprios operadores de

produção. Em caso de problemas identificados, um plano de ação eletrônico é aberto automaticamente direcionado aos gestores de produção a fim de mitigar possíveis perigos e riscos. A conectividade entre a linha de produção e o departamento de Qualidade permite que toda documentação da linha, como desenhos de produtos e instruções de trabalhos estejam disponíveis para os operadores em sua versão mais atual. Isso garante que todas as modificações e atualizações em documentos cheguem instantaneamente à linha de produção, evitando ambiguidade e erros no processamento.

- A Gestão da Manutenção também é melhorada com a aplicação da *IoT*. Sensores instalados no robô colaborativo (Cobot) e nos principais dispositivos das linhas são capazes de informar ao departamento de manutenção qualquer alteração percebida. Redução de velocidade, mau funcionamento e, principalmente, quebras são monitoradas em tempo real, gerando de maneira automática os gráficos indicadores de manutenção. Tal conectividade se dá graças as tecnologias WSN, *Middleware* e software chamado “PM+” que permite também a gestão do almoxarifado de peças utilizadas para reparo. Assim como é feito com a matéria prima, a *IoT* permite uma comunicação mais eficiente e assertiva com os principais fornecedores.

Para consolidar e gerenciar dados gerados a partir da *IoT*, a empresa utiliza-se da Big Data. De acordo com Gerbert *et al.* (2015), Big Data envolve o armazenamento de grandes conjuntos de dados e a produção de informações estruturadas no contexto da Indústria 4.0. O armazenamento dos dados é realizado por meio da computação em nuvem. A Computação em Nuvem é um termo geral que se refere ao envio de dados computacionais, por meio da *internet* de recursos escalonáveis (PACCHINI, 2019).

Figura 14: Framework para *IoT* em linhas de montagem da empresa A

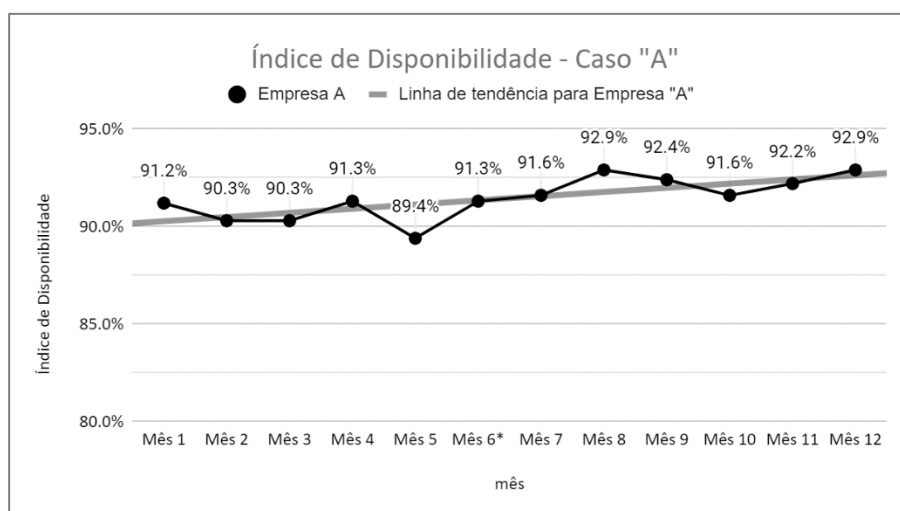


Fonte: Adaptado da empresa "A"

4.1.4 - Impactos da *IoT* na Fábrica “A”

O projeto inicial levou 12 meses para implantar as tecnologias de *IoT* na primeira linha de montagem. Com base no índice de disponibilidade, observou-se um incremento 1,7 pontos percentuais na linha de montagem final, de 91,2% no primeiro mês do projeto para 92,9% no décimo segundo mês. (Gráfico 1). Segundo o responsável pelo projeto, tal resultado pode ser explicado pela redução de paradas inesperadas do Cobot que antes não eram mensuradas e que, com auxílio da *IoT*, passaram a ser monitoradas em tempo real.

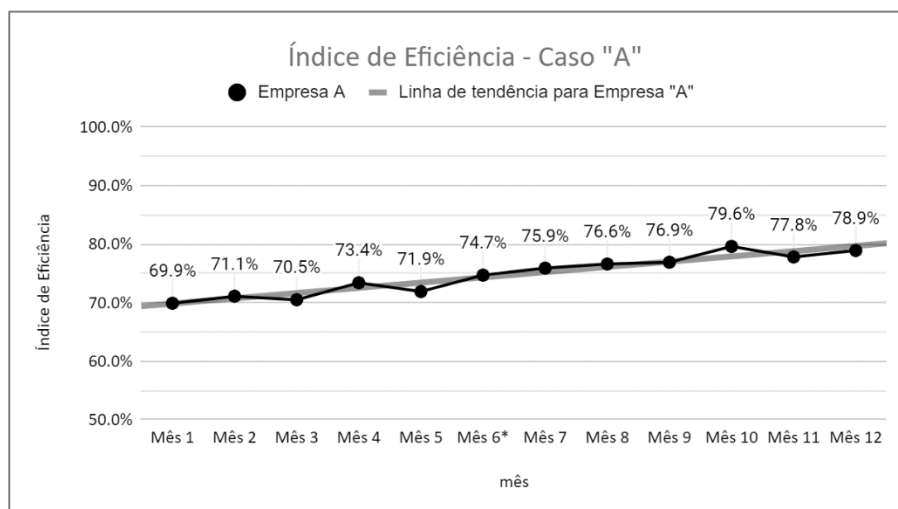
Gráfico 1: Índice de disponibilidade - Caso A



Fonte: empresa “A”

O índice de eficiência também apresentou melhoria durante o projeto na linha de montagem final, saltando de 69,9% para 78,9% (Gráfico 2). Segundo o responsável pelo projeto, a conectividade entre a linha e a gestão da produção através das tecnologias *IoT* e dos dispositivos móveis, possibilitou a rápida reação em caso de perda de eficiência. Anteriormente, a linha operava em baixa velocidade e o resultado só era percebido ao final de cada turno.

Gráfico 2: Índice de eficiência - Caso A



Fonte: empresa “A”

Atualmente, uma queda de eficiência a partir de 15% em comparação com a meta da linha, resulta em mensagens automáticas nos celulares dos supervisores de produção para que ações sejam tomadas e a produtividade seja restabelecida. Perdas a partir de 25% acionam o gerente da produção e acima de 35% o diretor industrial é notificado (Figura 15).

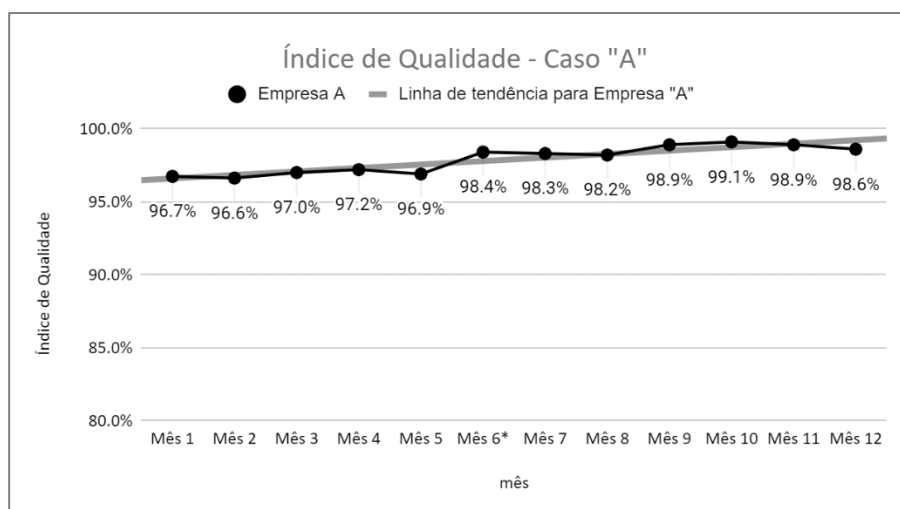
Figura 15: Padrão de reação



Fonte: Adaptado da empresa “A”

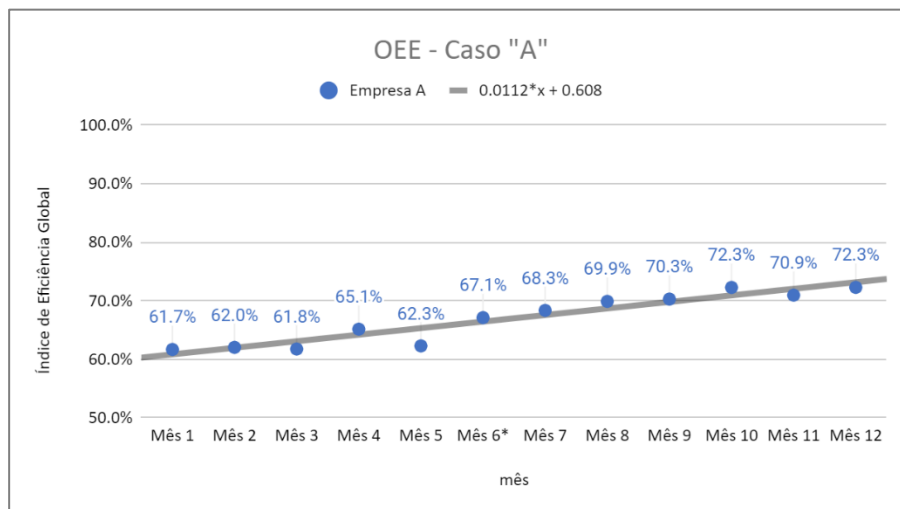
O Gráfico 3 demonstra os avanços nos resultados do indicador de qualidade interna na linha de montagem final. Anteriormente índice de qualidade era 96,7% e passou para 98,6%. De acordo com o responsável pelo projeto, a melhoria na conformidade do produto em relação aos requisitos dos clientes se deu principalmente por dois fatores principais: 1) interface entre o sistema de treinamentos e a linha de montagem onde só se faz necessária a liberação dos postos de trabalho por meio de crachá individual com RFID. Operadores sem os devidos treinamentos são impossibilitados de trabalhar e 2) disponibilização de instruções de trabalho digitais que são atualizadas e apresentadas através de um monitor conectado à *internet*. Com isso, reduziu-se o número de defeitos provenientes de erros operacionais.

Gráfico 3: Índice de qualidade - Caso A



Fonte: empresa “A”

Por fim, notou-se o aumento de 10,6 pontos percentuais na eficiência global (*OEE*) da linha de montagem final de 61,7% no primeiro mês do projeto para 72,3% no décimo segundo mês. O Gráfico 4, gerado a partir da ferramenta *Google Sheets*, apresenta uma linha de tendência expressa pela equação: $(Y) = 0,0112X + 0,608$; onde “Y” se refere ao *OEE* estimado para o Caso “A”, 0,0112 é o coeficiente angular estimado, X é o mês estimado tendo como X = 0 o início do projeto e, por fim, 0,608 é o coeficiente linear.

Gráfico 4: *OEE* - Índice de eficiência global – Caso A

Fonte: empresa “A”

4.2 ESTUDO DE CASO – FÁBRICA “B”

4.2.1 - Introdução à Fábrica “B”

O caso B trata de uma fábrica que produz e fornece sistemas de iluminação para as principais montadoras de carros, caminhões e motos no Brasil. A empresa está instalada na região metropolitana de São Paulo há mais de 50 anos. A localização da instalação se dá em um cinturão industrial para facilitar tanto o acesso dos fornecedores quanto aos clientes. Em 2018, a empresa teve um faturamento de R\$216 milhões. Custo e qualidade são considerados importantes prioridades competitivas em seu mercado.

4.2.2 - Processo de Fabricação na Fábrica “B”

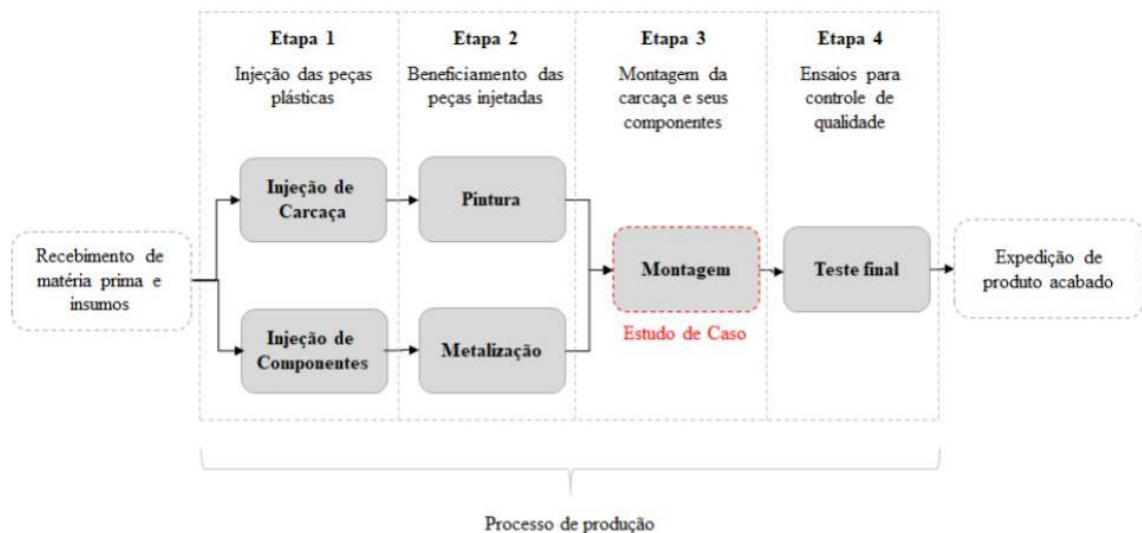
Faróis e lanternas automotivas são fabricadas em grande volume pelos mais de 650 funcionários da Empresa A. O processo produtivo (Figura 16) é dividido em 4 etapas principais:

- 1) Injeção de peças plásticas, realizadas em máquinas injetoras com capacidades variadas que vão de 450 a 1200 toneladas.
- 2) Beneficiamento das peças injetadas, incluindo processos de pintura metálica para componentes e aplicação de verniz em peças compõe a carcaça do produto.

3) Montagem da carcaça e seus componentes, feitas através de 16 linhas de montagens semiautomatizadas, ou seja, onde trabalham homens e robôs colaborativos.

4) Por fim, testes e ensaios para controle de qualidade são realizados em 100% dos conjuntos montados, conforme requisitos de normas técnicas e exigência dos clientes.

Figura 16: Fluxograma - uma visão geral do processo da Fábrica "B"



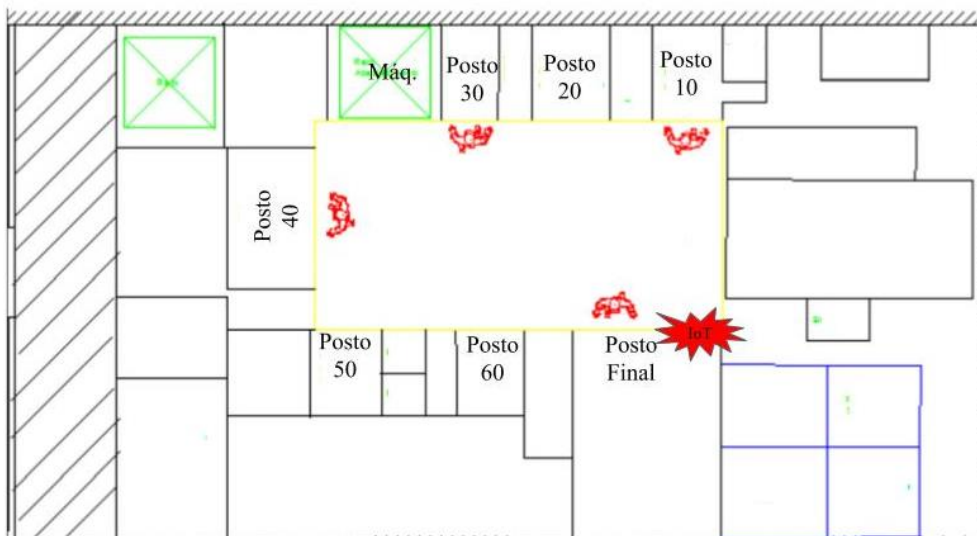
Fonte: Adaptado da empresa "B"

4.2.3 - *IoT* na Fábrica "B".

A fábrica B possui 17 linhas para realizar a montagem final dos seus produtos. A empresa em questão optou por desenvolver seu próprio projeto de *IoT* e, portanto, não utilizou um *Framework*. Após 30 meses desde o início da primeira etapa do projeto de *IoT*, 2 linhas de montagem estão conectadas à *internet* por meio de sensores integrados aos postos de trabalho. A figura 17 mostra o layout da linha de montagem final, indicada para este estudo. Para traduzir os dados capturados pelos sensores em indicadores de desempenho, a empresa utiliza um Software desenvolvido em parceria com um fornecedor especializado em MES-Sistemas de Execução de Manufatura. Já a disponibilidade dos indicadores ocorre por meio de duas tecnologias *IoT* que se complementam entre si: WSN para a transmissão dos dados dos indicadores de desempenho sem a necessidade de cabeamento de rede e *Middleware*-aplicativo instalado nos dispositivos móveis dos gestores que permite o acompanhamento dos indicadores em tempo real. Por fim, todos os dados ficam armazenados utilizando a tecnologia de

computação em nuvem que permitiu para a empresa uma redução de custos com infraestrutura interna.

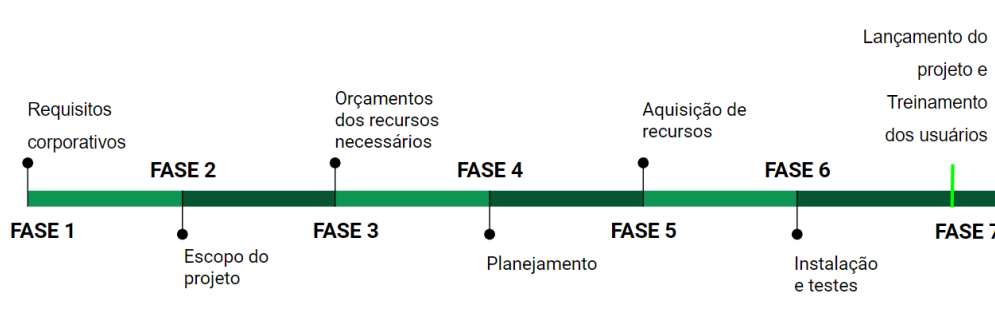
Figura 17: Layout da linha de montagem estudada na fábrica "B"



Fonte: empresa "B"

As implementações ocorreram em 2 etapas (Figura 19), sendo uma para cada tipo de produto. Cada uma teve duração aproximada de 18 meses e a escolha das linhas se deu através das famílias de produtos. Dentro de cada etapa houve 7 fases (Figura 18):

- 1) Entendimento dos requisitos corporativos;
- 2) Definição do escopo do projeto;
- 3) Orçamentos dos recursos necessários;
- 4) Planejamento de instalação das novas tecnologias,
- 5) Aquisição dos recursos necessários;
- 6) Instalação e testes,
- 7) Lançamento do projeto e Treinamento dos usuários

Figura 18: Fases do projeto *IoT* na empresa B

Fonte: Adaptado da empresa “B”

Para a implementação do projeto iniciado no ano de 2016 e que conectou os postos de trabalho das linhas de montagem à *internet* o time recebeu apenas definição corporativas quanto aos padrões a serem seguidos e quais recursos eram homologados pela empresa. Sem contar com o *Framework* corporativo ou um roteiro, as fases e etapas de implementação foram desenvolvidas pela própria equipe de trabalho local, com base no conhecimento empírico deles.

Figura 19: 2 Etapas de implementação do projeto *IoT* na empresa B

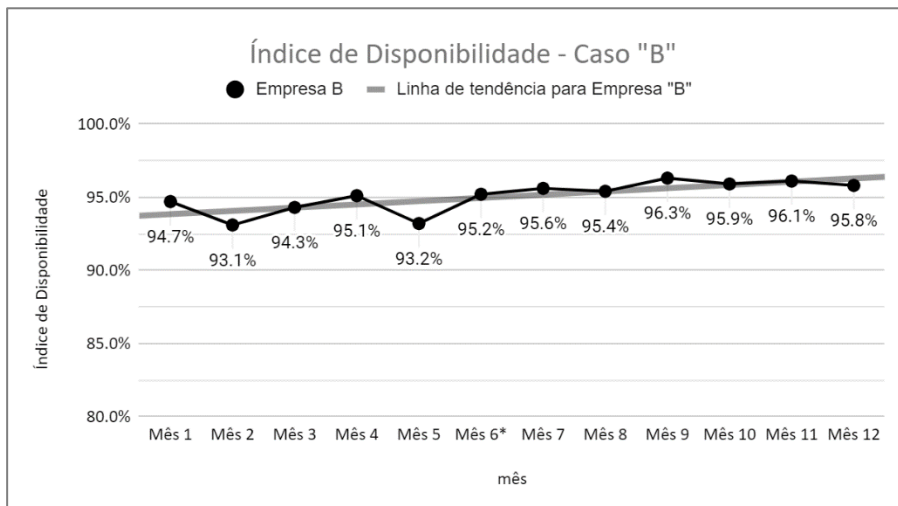
Fonte: Adaptado da empresa “B”

4.2.4 - Impactos da *IoT* na Fábrica “B”.

Após conectar as linhas de montagem à *internet*, a empresa B observou melhoras em seus resultados nos 12 meses que antecederam o final da primeira etapa do projeto de implantação das tecnologias *IoT* na linha de montagem final. O ganho de velocidade na tomada de decisão por parte da gestão da produção e a rápida reação diante da tendência de desvio no desempenho da linha por parte do time operacional, garantiram bons resultados tanto de produtividade quanto de qualidade. Com base no indicador de

disponibilidade, foi observado um aumento de 94,7% para 95,8% durante a implantação do projeto, conforme Gráfico 5.

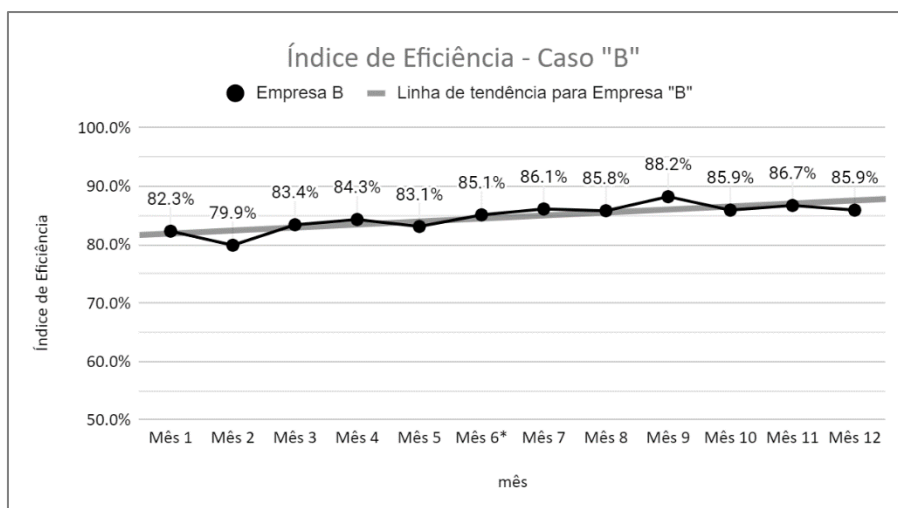
Gráfico 5: Índice de disponibilidade - Caso B



Fonte: empresa "B"

O Gráfico 6 mostra o índice de eficiência e sua evolução no período avaliado. Do mês 1 para o mês 12 houve um incremento de 3,7 pontos percentuais, subindo de 82,3% para 85,9%.

Gráfico 6: Índice de eficiência - Caso B



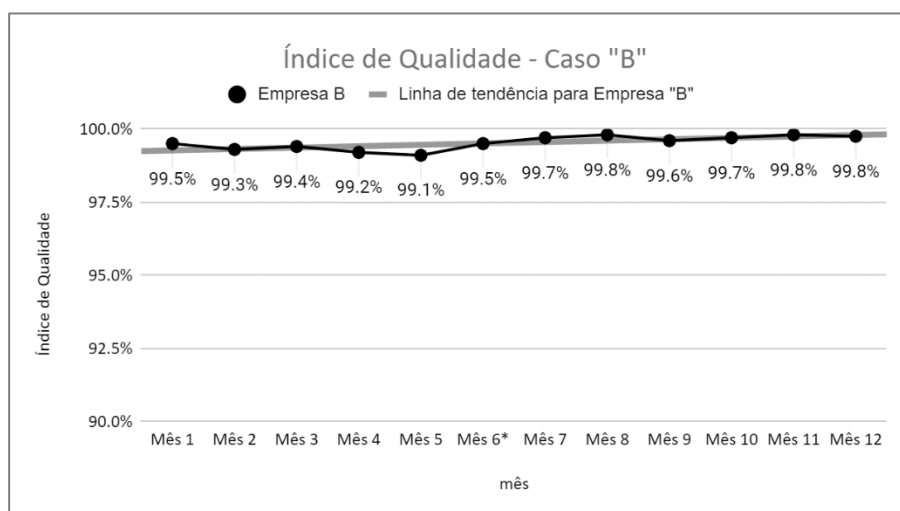
Fonte: empresa "B"

O mesmo ocorreu com o resultado do indicador que mede a quantidade de peças defeituosas geradas a cada milhão de peças produzidas (ppm - partes por milhão). Anteriormente a média de peças rejeitadas era de 5100 ppm e no final da primeira etapa do projeto o número caiu para menos de 2000 ppm. Segundo o responsável pelo projeto na empresa B, com o acompanhamento da produção em tempo real sem a necessidade de relatórios manuais, os operários passaram a ter mais tempo para realizar as inspeções.

Além disso, tornou-se possível parar a linha ao primeiro defeito e ter uma rápida resposta por parte da equipe de suporte, como engenharia, supervisão, métodos e processos, que recebem alertas em seus computadores e celulares evitando, assim, grandes desperdícios.

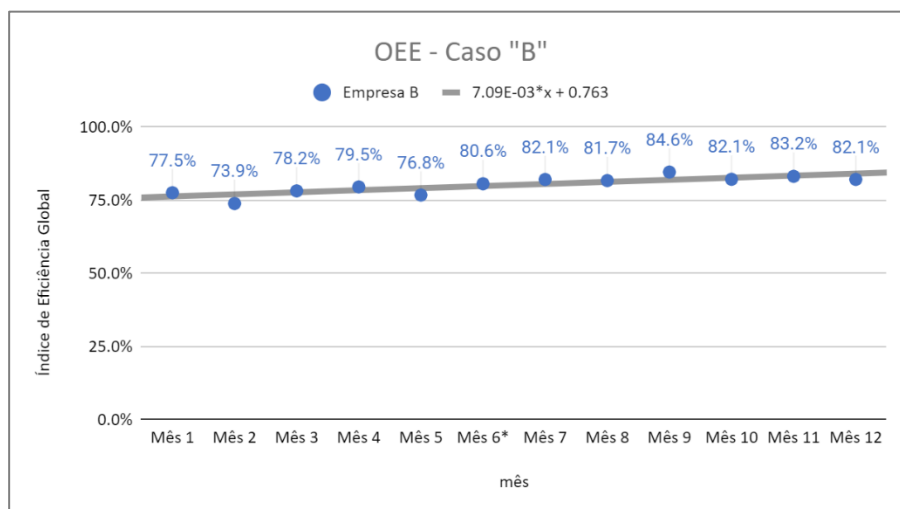
Na comparação entre o mês 1 e o mês 12 do período estudado, o índice de qualidade subiu de 99,5% para 99,8% (Gráfico 7).

Gráfico 7: Índice de qualidade - Caso B



Fonte: empresa "B"

Por consequência à melhoria nos resultados de disponibilidade, eficiência e qualidade, o índice de Eficiência Global (*OEE*) também mostrou um desempenho melhor no mês 12 em relação ao mês 1, como mostra o Gráfico 8. O *OEE* estimado para o caso da empresa "B" é representado pela equação: $(Y) = 0,00709X + 0,763$; onde 0,00709 é o coeficiente angular estimado, X é o mês estimado e 0,763 é o coeficiente linear estimado.

Gráfico 8: *OEE* - Índice de eficiência - Caso B

Fonte: empresa “B”

Apesar de não possuir outras tecnologias relacionadas à *IoT*, tal como RFID para registro automático de entrada e saída de peças da linha, e contar com apenas duas das dezessete linhas de montagem conectados à *internet*, a empresa B considera expandir o uso da *IoT* nos próximos 2 anos com o auxílio do seu *Framework* corporativo. Com isso, outra expectativa para os próximos anos é promover a digitalização de toda documentação de processo. Instruções de trabalho, desenhos de produtos e checklists poderão ser acessados *online* pelos operadores de produção e qualquer tipo de atualização ou modificação documental poderá ser acompanhado em tempo real no chão de fábrica, evitando erros de processo.

A empresa B não informou os custos de implantação do projeto bem como o período no qual o resultado líquido acumulado da melhoria na operação equivale ao investimento.

4.3 ESTUDO DE CASO – FÁBRICA “C”

4.3.1 - Introdução à Fábrica “C”.

O caso C é de uma empresa de grande porte com 1400 funcionários e faz parte do mesmo grupo multinacional das empresas A e B. Ela fabrica sistemas de refrigeração veicular em volumes muito grandes usando o processo de linha de montagem. A empresa

considera tempo de entrega, qualidade e custo como parâmetros importantes para competir em seu mercado. Situada no interior de São Paulo, há aproximadamente 120 quilômetros da capital do estado, sua localização foi decidida para aproveitar o benefício fiscal concedido. Além disso, os seus fornecedores também estão localizados nas proximidades. A empresa C produz em grande volume e está aumentando sua capacidade para atender ao mercado exterior e, por consequência, poderá explorar a economia de produção em larga escala para reduzir o custo do produto acabado.

4.3.2 - Processo de Fabricação na Fábrica “C”

A Figura 20 ilustra o processo de fabricação da empresa C, que pode ser descrito de maneira geral como: recebimento de matéria prima, sendo a principal delas o plástico que é fornecido em forma de grânulos. A partir da matéria prima, o processo de injeção produz as peças plásticas. Na sequência, as peças injetas são montadas com os demais componentes comprados de fornecedores externos. O passo seguinte consiste na realização de testes elétricos, de vibração e de ruído, a fim de assegurar a qualidade total do produto.

Figura 20: Fluxograma - uma visão geral do processo da Fábrica "C"



Fonte: Adaptado da empresa “C”

4.3.3 - IoT na Fábrica “C”

Apesar de não seguir um *Framework* para *Internet* das coisas, a fábrica “C” conta com uma linha Piloto (Figura 21) onde estão sendo instaladas as primeiras tecnologias *IoT*. Indicadores de produção, como: Tempo de ciclo, Percentual de eficiência, Quantidade de peças produzidas e Tempo de linha parada, são extraídos direto dos postos

de trabalho, sem a necessidade da intervenção humana, e podem ser acompanhados em tempo real através das tecnologias WSN e *Middleware*. Uma tela *touchscreen* possibilita ao operador lançar seus dados de produção, bem como visualizar a programação prevista para a sua linha e o status atual do processo. A consolidação dos resultados de desempenho da linha de montagem é disponibilizada em gestão à vista por meio de televisões de 32" colocadas nas entradas de cada linha. Os dados também podem ser acessados nos computadores da empresa e nos celulares corporativos dos supervisores, gerentes e diretores, basta o equipamento ou dispositivo estar conectado à rede de *internet* da empresa.

Figura 21: Layout da linha de montagem estudada na fábrica "C"

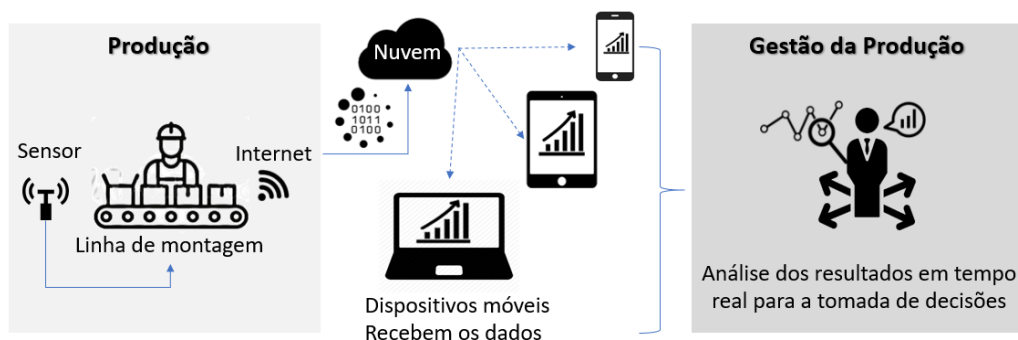


Fonte: empresa "C"

De acordo com Teimoury *et al.* (2013) um dos desafios da medição de desempenho é o atraso nos processos de medição. A principal característica do Sensoriamento é a prontidão para reagir diante de distúrbios devido à detecção de eventos em tempo real com a ajuda de novas tecnologias, principalmente a *Internet* das coisas. Com o impulso da *IoT*, os dados, nas indústrias, estão se tornando cada vez mais acessíveis e ubíquos. Esses decorrem de vários canais, incluindo sensores, dispositivos, vídeo / áudio, redes, aplicativos transacionais, a web, e feeds de mídia social (PACCHINI, 2019).

A Figura 22, apresenta a aplicação da *IoT* na linha de montagem da empresa C e a interação entre o chão de fábrica e a gestão da produção.

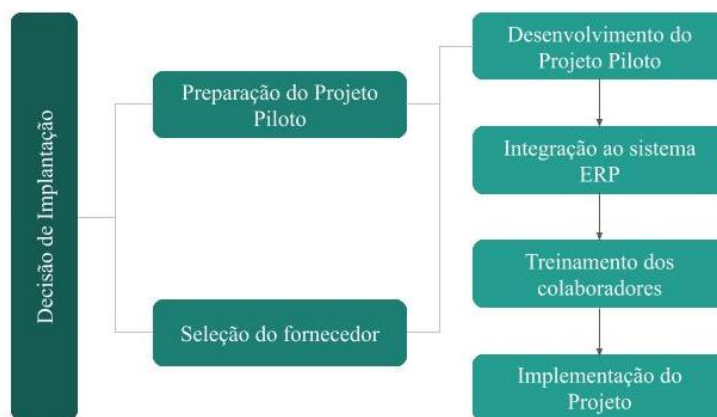
Figura 22: *Internet* das coisas aplicada à linha de montagem da empresa C



Fonte: Adaptado da empresa “C”

A implementação do projeto na linha piloto, partiu de uma decisão estratégica do comitê diretivo da empresa “C” com o objetivo de melhorar os registros e controles de indicadores de desempenho das linhas de produção visando facilitar a tomada de decisão e viabilizar a melhoria contínua no processo de montagem final. Em seguida, um time multidisciplinar formado pelos próprios funcionários da fábrica “C” realizou a preparação do escopo do projeto piloto e a seleção de um fornecedor parceiro. Com o auxílio do fornecedor de tecnologia selecionado, o projeto foi desenvolvido e implementado, conforme o esquema ilustrado na Figura 23. O projeto levou 24 meses para ser totalmente concluído na primeira linha de montagem. A empresa “C” não contou com um *Framework* para auxiliar na implantação da *IoT*. O gestor entrevistado também não informou se possui um plano estruturado para a expansão do projeto e futura adoção de outras tecnologias como RFID e Softwares específicos para *IoT*.

Figura 23: Fases do projeto *IoT* na linha de montagem da empresa C

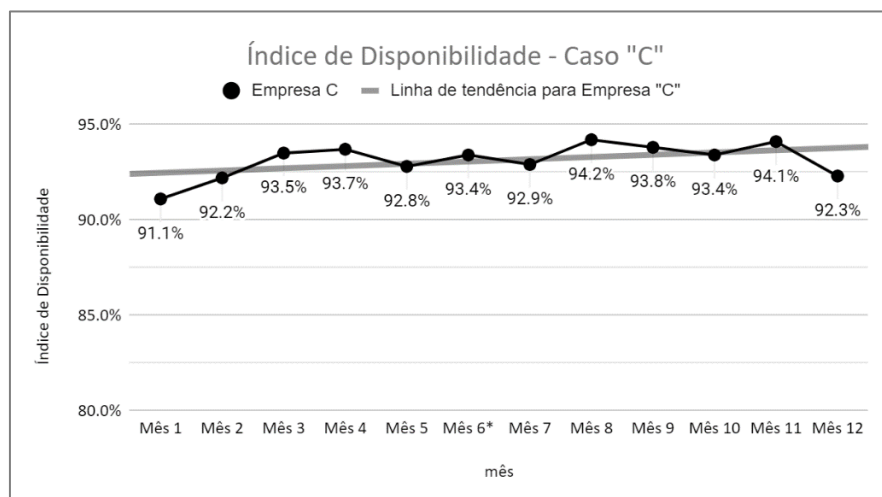


Fonte: Adaptado da empresa “C”

4.3.4 - Impactos da *IoT* na Fábrica “C”.

A partir do indicador de índice de disponibilidade calculado pela fábrica “C” observou-se um incremento de 91,1% para 92,3% em comparação entre os meses 1 e 12, conforme Gráfico 9.

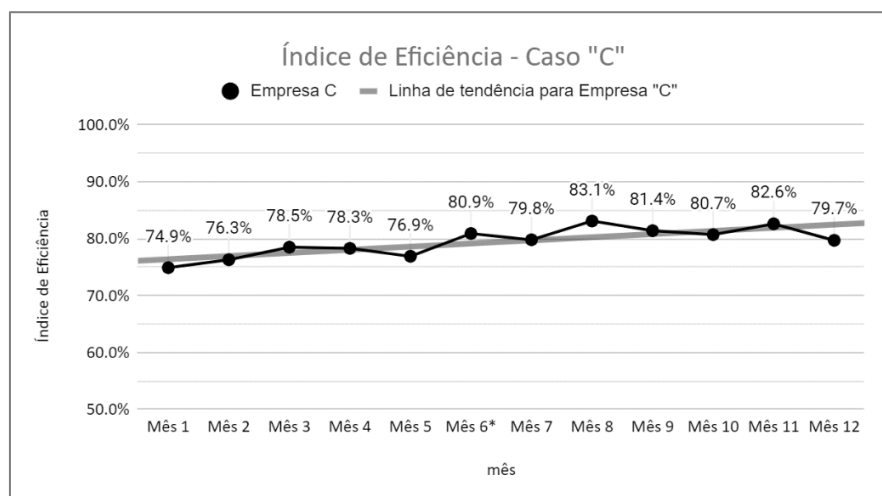
Gráfico 9: Índice de disponibilidade - Caso C



Fonte: empresa “C”

O Gráfico 10 mostra que no período de implementação das tecnologias *IoT*, o índice de eficiência na linha de montagem final teve um aumento de 4,8 pontos percentuais, subindo de 74,9% para 79,7%.

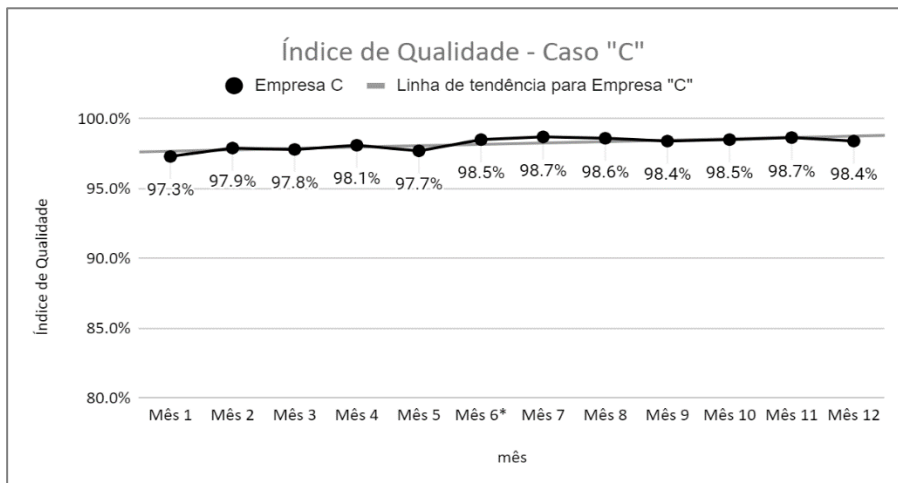
Gráfico 10: Índice de Eficiência - Caso C



Fonte: empresa “C”

A empresa “C” também registrou impactos positivos no índice de qualidade, de 97,3% no primeiro mês para 98,4% no último mês analisado, como mostra o Gráfico 11.

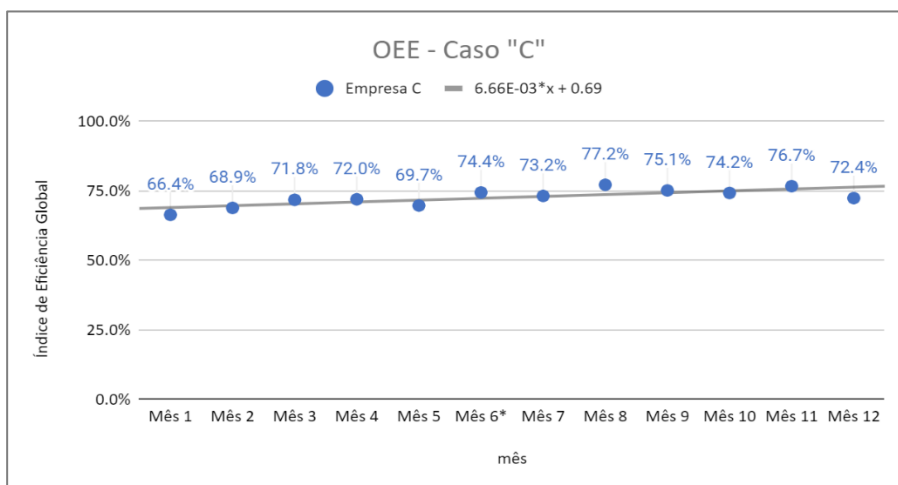
Gráfico 11: Índice de qualidade - Caso C



Fonte: empresa “C”

Finalmente, o *OEE* da linha de montagem final também evoluiu ao passo que as tecnologias *IoT* foram implementadas. O resultado pode ser observado no Gráfico 12, onde o *OEE* estimado para o caso da empresa “C” é representado pela equação: $(Y) = 0,00666X + 0,690$; sendo 0,00666 o coeficiente angular estimado, X o mês estimado e 0,690 o coeficiente linear estimado.

Gráfico 12: *OEE* - Índice de eficiência Global



Fonte: empresa “C”

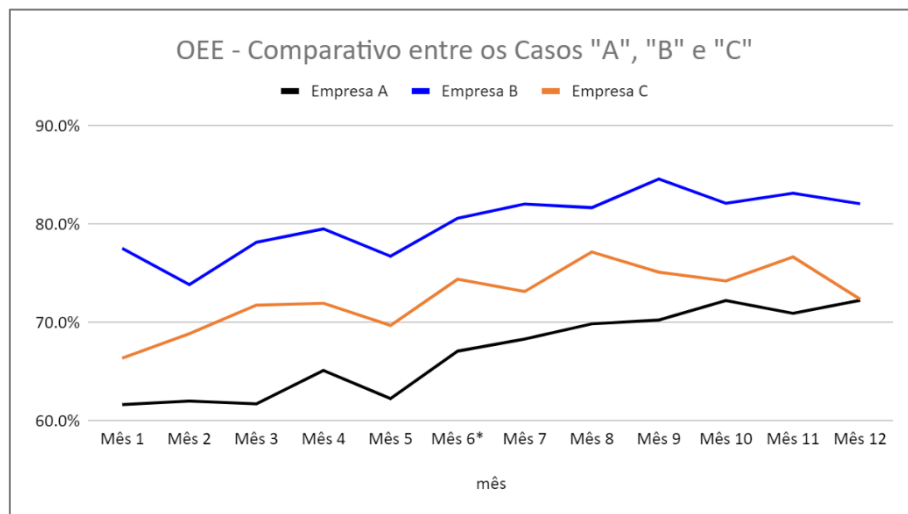
5. DISCUSSÕES E ANÁLISE INTERCASOS

De acordo com Schwab. (2016), atualmente, a humanidade está enfrentando uma grande diversidade de desafios, sendo o mais intenso e importante deles, o entendimento e a modelagem da nova revolução tecnológica da chamada Indústria 4.0. Diversos autores têm direcionado seus esforços na compreensão dos elementos que envolvem a quarta revolução industrial e suas tecnologias habilitadoras. Nesse contexto, a *IoT* vem ganhando destaque por suas inúmeras áreas de aplicação e benefícios. No caso da indústria, a conectividade entre as “coisas” - máquinas, equipamentos, peças e dispositivos eletrônicos, tem transformado as fábricas e suas linhas de montagem tradicionais.

Este trabalho buscou analisar a melhoria de desempenho em linhas de montagem de autopeças a partir da aplicação das tecnologias *IoT*: RFID, WSN, Software para *IoT*, Middleware e Computação em Nuvem. Adicionalmente, o presente estudo procurou entender quais tecnologias *IoT* estão sendo utilizadas pelas fabricantes de autopeças e de que forma estão sendo implementadas. Para tanto, foram consultadas três fábricas distintas de autopeças, localizadas em diferentes cidades do estado de São Paulo.

Os estudos de caso que analisaram os índices de disponibilidade, eficiência e qualidade, mostraram melhorias gradativas em todos os indicadores durante a implementação das tecnologias da *IoT*, como mostrou o capítulo 4. Outro índice, o principal deles, o *OEE*, também apresentou crescimento nos três casos, principalmente na fábrica “A”, onde a evolução no período analisado foi maior, crescendo mais de 10 pontos percentuais, conforme Gráfico 13. Nas fábricas “B” e “C” a ascensão foi semelhante, 4,6 e 6,0 pontos percentuais, respectivamente.

Quando comparados os níveis de eficiência global entre as linhas de montagem das três filiais, nota-se que apesar da grande elevação em seu *OEE*, a fábrica “A” ainda opera em níveis mais baixos que as demais. Porém, sua tendência aponta a possibilidade de equiparação com relação à fábrica “C”, enquanto a fábrica “B” se mostra com o maior índice de eficiência global.

Gráfico 13: Comparativo de evolução do *OEE* entre as empresas A, B e C

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 3 apresenta a evolução em pontos percentuais em comparação ao mês 1 e o mês 12 para cada índice, além do coeficiente angular da linha de tendência do OEE, mostrando que a fábrica A teve a maior evolução nos quatro indicadores de performance entre os casos estudados. Enquanto o ganho médio incremental na empresa “A” era de 1,12%, as empresas “B” e “C” era de 0,71% e 0,67%, respectivamente.

Tabela 3 - Evolução em pontos percentuais entre os meses 1 e 12

	Caso A	Caso B	Caso C
Índice de Disponibilidade	1.70	1.10	1.20
Índice de Desempenho	9.00	3.60	4.80
Índice de Qualidade	1.86	0.25	1.10
Índice de eficiência Global (<i>OEE</i>)	10.60	4.54	5.99
Coeficiente Angular (linha de tendência do OEE)	0,0112	0,00709	0,00666

Fonte: Elaborado pelo autor

A empresa “A” foi a única a utilizar um *Framework* como modelo para a implantação da *IoT* nas linhas de montagem. Destaca-se, também, o número superior de tecnologias e sistemas *IoT* implementados pela fábrica “A” (Quadro 6).

Quadro 6 - Tecnologias IoT implementadas pelas empresas

	Caso A	Caso B	Caso C
RFID	Implementado	Ausente	Ausente
WSN - Redes sem fio	Implementado	Implementado	Implementado
Softwares para IoT	Implementado	Implementado	Ausente
Middleware	Implementado	Implementado	Implementado
Computação em Nuvem	Implementado	Implementado	Implementado
Outras	Implementado	Ausente	Ausente

Fonte: Elaborado pelo autor

O Quadro 7, apresenta um comparativo de implementação *IoT* entre as fábricas estudadas e aponta que a empresa “A”, através de seu *Framework*, conseguiu implementar a maior diversidade de tecnologias em um menor espaço de tempo. Nesta comparação, a fábrica “C” teve o menor desempenho, utilizando o menor número de tecnologias em um período superior em relação às demais filiais.

Quadro 7 - Comparativo de implementação da IoT

	Caso A	Caso B	Caso C
Como foi implementado?	Através de um Framework corporativo que serviu como um guia de implantação	Através de um projeto dividido em 7 fases e desenvolvido pela equipe local.	Através de um projeto dividido em 7 fases e desenvolvido pela equipe local.
Tempo requerido para total implementação em 1 linha	12 meses	18 meses	24 meses
Número de tecnologias <i>IoT</i> implementadas	6	4	3

Fonte: Elaborado pelo autor

Curioso notar que a empresa “A” foi a única a utilizar um *Framework* para *IoT* e que ela teve maior evolução nos índices de desempenho e maior adoção de tecnologias *IoT*, além de ter demandado do menor período para implementação. Contudo, este trabalho de pesquisa mostrou que a adoção da *IoT* nas linhas de montagens pode gerar impactos positivos no desempenho das empresas de autopeças, sobretudo se forem implementadas com o auxílio de um *framework*.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho conclui que foi possível analisar os efeitos da aplicação da *Internet das Coisas (IoT)* na melhoria dos índices de desempenho em linhas de montagem de autopeças. Para responder a questão de pesquisa, foi identificado por meio de revisão da literatura as principais tecnologias que envolvem a *IoT* e os indicadores de performance adequados para ambientes de *IoT* e fábricas inteligentes.

A análise dos estudos de caso mostrou que a *IoT* pode produzir efeitos positivos, principalmente no índice de eficiência global (*OEE*) das linhas de montagem de autopeças, podendo chegar a um incremento de até 10 pontos percentuais no período de 12 meses.

Este estudo teve como limitação o foco na implantação de projetos de *IoT* em linhas de montagem pertencentes a um mesmo grupo empresarial, o que foi necessário em função da dificuldade na obtenção da grande quantidade de dados, muitas vezes sigilosos, requeridos para análise. Outra limitação está relacionada à indisponibilidade de dados financeiros para que pudesse ser realizada a análise de viabilidade dos projetos.

Dessa forma, esta pesquisa pode trazer contribuições tanto à Teoria como à Prática da Engenharia de Produção e da Gestão de Operações. Para a literatura que aborda este tema, o presente trabalho contribui ao trazer resultados do mundo real que atestam os benefícios da *IoT* e os impactos positivos nos índices de desempenho. Para a prática, a contribuição está na possibilidade de utilização desta pesquisa para inspirar e guiar outras empresas na implementação das tecnologias *IoT* em suas linhas de montagem, sobretudo nas de autopeças. Por fim, ao passo que tal estudo, se colocado em prática, pode ajudar a fortalecer a competitividade na indústria de autopeças, podendo beneficiar a economia das regiões onde estão instaladas as fábricas deste setor.

Como sugestões para próximas pesquisas, a avaliação do impacto da *IoT* em outros tipos de processos e indústrias como, por exemplo, em processos contínuos da indústria de alimentos ou farmacêuticas. Outro ponto para estudos futuros seria a análise em diferentes empresas e de portes variados. Por fim, sugere-se o desenvolvimento de um *Framework* teórico que auxilie as empresas, em especial as de autopeças, no processo de implantação da *Internet das coisas (IoT)* em seus processos de fabricação bem como estudos que comprovem os benefícios de sua utilização

APÊNDICE 1

Folha para Entrevista	
OS EFEITOS DA IoT EM LNHAS DE MONTAGENS DE AUTOPEÇAS	
<input type="checkbox"/> Empresa A <input type="checkbox"/> Empresa B <input type="checkbox"/> Empresa C Data da entrevista: _____ Entrevistado: _____	
#	PERGUNTAS
1	Qual o número de funcionários trabalhando na fábrica da empresa estuda?
2	Quais os tipos de produtos que são manufaturados nela?
3	Quais as características da linha de produção: 1) Totalmente manual; 2) Parcialmente Automatizada (utiliza cobots para auxiliar os operários); 3) Totalmente Automatizada
4	A empresa estudada tem ou está implementando a IoT em ao menos 1 de suas linhas de produção? Qual (is)?
5	Como as implementações ocorreram? Quais foram suas fases/etapas de implementação?
6	Seguiram um roteiro ou framework para implementação? Se sim, qual foi?
7	Quais tecnologias relacionadas a IoT a empresa ainda não tem mas pretende implementar nos próximos 12 meses?
8	A programação da produção ocorre de maneira digital e toda a cadeia de produtiva envolvida recebe essa informação via internet?
9	Toda documentação requerida para a produção está disponível de maneira digital e on line?
10	Indicadores de produção como: Tempo de ciclo, Percentual de eficiência, Quantidade de peças produzidas e Tempo de linha parada, são extraídos direto da linha, sem a necessidade da intervenção humana, e podem ser acompanhados em tempo real via internet?
11	Com base no indicador de eficiência, foi observado ganho de produtividade com a implementação da IoT? Se sim, quais os resultados antes e depois da implementação da IoT?
12	Com base no indicador de Scrap (PPM) foi observada melhora na qualidade dos produtos com a implementação da IoT? Se sim, quais os resultados antes e depois da implementação da IoT?
13	Foi possível mensurar algum ganho financeiro com a implementação da IoT? Se sim, quais os resultados antes e depois da implementação da IoT?
14	O payback (tempo estimado para retorno sobre o capital investido) foi calculado? Se sim, quais os resultados antes e depois da implementação da IoT?
15	A IoT melhorou a confiabilidade nos dados e indicadores de produção?
16	A IoT possibilitou maior agilidade na tomada de decisão por parte dos gestores da produção?
#	Observações da entrevista
#	Observações feitas durante a visita à fábrica

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, J.; **O Mecanismo da Função de Produção**: Análise dos Sistemas Produtivos do Ponto-de-Vista de uma Rede de Processos e Operações, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. p.33-47
- ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; BORTOLOTTI, P.; KLIPPEL, M.; PELLEGRIN, I.; **Sistemas de Produção**: Conceitos e Práticas para Projetos e Gestão da Manufatura Enxuta. Porto Alegre. Bookman, 2008. p. 78-99
- ALVIM, P. Tirando o Máximo do Java EE 6. **Open Source com Company Developer Suite**. 3. ed. Belo Horizonte: Power logic Publishing, 2010
- AHMEDA, E.; YAQOOBA, I.; HASHEMA, I. A. T.; KHANB, I.; AHMEDA, A. I. A.; IMRANC, M.; VASILAKOS, A. V. The role of big data analytics in *Internet of Things*. **Computer Networks**, v. 129, p. 459–471, 2017.
- AKYILDIZ, I. F. *et al.* Wireless sensor networks: a survey. **Computer Networks**, v. 38, p. 393–422, mar 2002.
- ANFAVEA. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. São Paulo, p. 148. 2018. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario2019/anuario.pdf>> Acesso em 10/10/2019.
- AVRAM, M. G. Advantages and challenges of adopting cloud computing from an enterprise perspective. **Procedia Technology**, v. 12, p. 529-534, 2014.
- BARDAKI, C.; KOUROUTHANASSIS, P.; PRAMATARI, K. Deploying RFID-Enabled Services in the Retail Supply Chain: Lessons Learned toward the *Internet of Things*. **Information Systems Management**. p. 233–245, jun. 2012.
- BECKER, C.; SCHOLL, A. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. **European Journal of Operational Research**. Ed.168. p. 694–715. 2016.
- BRAZ R. G. F.; SCAVARDA, L. F.; MARTINS, R. A.; Rever e melhorar os sistemas de medição de desempenho: uma pesquisa-ação. **International Journal of Economics Production**. v. 133, n. 2, p. 751-60. 2011.
- BNDES, Panorama da indústria de autopeças no Brasil: características, conjuntura, tendências tecnológicas e possibilidades de atuação do BNDES. **BNDES Setorial**. N. 42, p. 167-216. 2015. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/>> Acesso em: 11/10/2009.
- BNDES, **Relatório do Plano de Ação** – Iniciativas e projetos mobilizadores 2017, Produto 8 v1.1, 2017. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/> Acesso em: 17/10/2019.

BOZA, A.; CORTES, B.; ALEMANY, M.; CUENCA, L. Conceptual framework for applying *internet* of things in production systems for sensing enterprises. **Brazilian Journal of Operations and Production Management**. v.13, p. 66-71. 2015.

BOYSEN, N.; FLIEDNER, M.; SCHOLL, A.; Classification of Assembly Line Balancing Problems. **European Journal of Operational Research**. v.183, p. 674–693, 2007.

BLAIR, G. S. *et al.* The Design and Implementation of Open ORB 2. Reino Unido: **IEEE Computer Society**, v. 2, 2001.

BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M.; ZAMMORI, F. Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML): An integrated approach to assess systems performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**. v. 20, n. 1, p. 8-29, 2009.

BUYYA, R., YEO, C. S., VENUGOPAL, S., BROBERG, J., and BRANDIC, I. Cloud computing and emerging it platforms: Vision, hype and reality for delivering computing as the 5th utility. **Future Generation of Computer System**. v.25, n.6, p.599–616, 2009.

CAUCHICK, M., SOUSA, R. O método do estudo de caso na Engenharia de Produção. **Metodologia E Pesquisa Em Engenharia De Produção E Gestão De Operações**. Ed. 2. São Paulo: Elsevier, 2012.

CHEN, X.; LI, A.; ZENG, X.; GUO, W.; HUANG, G. Runtime model-based approach to IoT application development. **Frontiers of Computer Science**. v.9 (4), p.540-553. 2015.

COHEN, Y.; NASERALDIN, H.; CHAUDHURI, A.; PILATI, F. Assembly systems in Industry 4.0 era: a road map to understand Assembly 4.0. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**. v.1, p. 455–469. 2019.

CORAZZA, R. I. Gestão ambiental e mudanças da estrutura organizacional. **Revista de Administração de Empresas (RAE-eletrônica)**, v. 2, n. 2, p. 1-23, 2003.

CYPLIK, P.; HADAS, L. Production system virus analysis tool (PSVA) – problems identification and analysis framework - Case Study. **Scientific Journal of Logistcs**. v. 17, n.1, p. 1–14. 2011.

CZAUSKI, T. WHITE, J.; SUN, Y.; TURNER, H.; EADE, S. NERD - Middleware for IoT human machine interfaces. **Analns of telecommunications**, v. 71, ed.3-4, p.109-119, 2016.

CRUZ, M., RODRIGUES, J., SANGAIAH, A.K., AI-MUHTADI, J., KOROTAIEV, V., Performance evaluation of IoT middleware, **Journal of Network and Computer Applications**. (2018).

ELAPPILA, M.; SUCHISMITA, C.; DAYAL, R., P. Survivable Path Routing in WSN for IoT applications. **Pervasive and Mobile Computing**. v.43, p. 49-63, 2018.

FERRER, B. R.; MUHAMMAD, U.; MOHAMMED, W. M.; LASTRA, J. L. M. Implementing and Visualizing ISO 22400 Key Performance Indicators for Monitoring Discrete Manufacturing Systems. **IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)**.; p. 629–636, St. Petersburg, Russia, 15–18 May 2018.

GERBERT, P.; LORENZ, M.; RÜGMANN, M.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; HENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: the future of productivity growth in manufacturing industries. **Munich: The Boston Consulting Group**, 2015.

GUBBI, J.; RAJKUMAR, B.; SLAVEN, M.; MARIMUTHU, P. *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. **Future Generation Computer Systems**. v. 29, n. 7, p. 1645–1660, set 2013.

GUERHARDT, Flávio. Proposta de framework para adoção de IoT no gerenciamento de uma cadeia de suprimentos da indústria de autopeças. 2019. 155f. Tese (Doutorado) – **Universidade Nove de Julho - UNINOVE**, São Paulo, 2019.

GOKHALE, A. Model driven middleware: A new paradigm for developing distributed real-time and embedded systems. **Science of Computer Programming**. v. 73, n. 1, p. 39-58, set 2008.

GONG, C. The Characteristics of Cloud Computing. **International Conference on Parallel Processing Workshops**, Changsha, p. 275-279, set 2010.

HAYES, R.; UPTON, D.; PISANO, G. **Produção, estratégia e tecnologia: em busca da vantagem competitiva**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HWANG, G.; LEE, J.; PARK, J.; CHANG, T. Developing performance measurement system for *Internet of Things* and smart factory environment. **International Journal of Production Research**. V.55, ed. 9, p. 2590-2602, 2016.

KLEFSTAD, R.; SCHMIDT, D. C.; O'RYAN, C. Towards Highly Configurable Real-time. Object Request Brokers. **Electrical and Computer Engineering Dept.**, USA, fev 2002

KHAN, A.; TUROWSKI, K. A. Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems. **Proceedings of The International Conference on Internet of Things and Big Data – IoT BD 2016**, Rome. p. 441-448, 2016

KITSON, A. *et al.* Evaluating the successful implementation of evidence into practice using the PARIHS framework: theoretical and practical challenges. **Implementation Science**. v. 3, n. 1, 2008.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, v. 58, n. 4, p. 431-440, ago 2015.

LEWIS, M. W.; Iterative triangulation: a theory development process using existing case studies. **Journal of Operations Management**. v.16, 1998, p. 455–469.

LOUREIRO, A. *et al.* Redes de Sensores Sem Fio. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**, 2003.

LIU, Y.; XU, X. Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 139, n. 3, p. 1-8, 2017

MEREDITH, J. “Building operations management theory through case and field research” **Journal of Operations Management**, v. 16, pp 441-454. 1998.

MUCHIRI, P. A.; PINTELON, L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. **International Journal of Production Research**. v. 46, n13, p. 3517-3535, 2008.

MITTAL, S.; KHAN, M. A.; ROMERO, D.; WUEST, T. Smart manufacturing: characteristics, technologies and enabling factors. **Journal of Engineering Manufacture**, In Press, p. 1-20, 2017.

MOHAMED, S.; HAMZA, H.; SAROIT, I. Coverage in mobile wireless sensor networks (M-WSN): A survey. **Computer Communications**. 2017, Vol.110, pp.133-150.

NAKAJIMA, S., **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. Productivity Press: Cambridge, 1998.

OLIVEIRA NETO, G. C.; PINTO, L. F. R.; AMORIM, M. P. C.; GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; **Journal of Cleaner Production**, 2018, Vol.196, pp.1629-1643

PÉREZ, H.; GUTIÉRREZ, J. J. A Survey on Standards for Real-Time Distribution Middleware. **ACM Computing Surveys**. v. 46, n. 4, p. 1-39, mar 2014.

PACCHINI, Athos. O grau de prontidão das empresas industriais para implantação da indústria 4.0: um estudo no setor automotivo brasileiro. 2019. 196f. Tese (Doutorado) – **Universidade Nove de Julho - UNINOVE**, São Paulo, 2019.

PADILLA, P.; PADILLA, J.; VALENZUELA-VALDEZ, J.; SERRÁN-GONZÁLEZ, J.; LÓPEZ-GORDO, M. Performance Analysis of Different Link Layer Protocols in Wireless Sensor Networks. **Wireless Personal Communications**, v.84, n.4, p. 3075-3090, 2015.

PEREIRA, A. C.; ROMERO, F. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. **Procedia Manufacturing**. v 13, p. 1206 – 1214, 2017.

PULIAFITO, A.; CELESTI, A.; VILLARI, M.; FAZIO, M. Towards the Integration between IoT and Cloud Computing: An Approach for the Secure Self-Configuration of Embedded Devices. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v.11, n.10, 2015.

REZAEI, M., SHIRAZI, M., KARIMI, B. IoT-based framework for performance measurement A real-time supply chain decision alignment. **Industrial Management & Data Systems**. v. 117, n. 4, p. 688-712, 2017.

ROMER, K., FRIEDMANN, M. The Design Space of Wireless Sensor Networks. **IEEE Wireless Communications**. v. 11, n.6, p. 54-61 2004.

ROSSIT, D.; TOHMÉ, F.; FRUTOS, M.; An Industry 4.0 approach to assembly line resequencing. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology** v. 105, p. 3619-3630, 2019.

REZEPIN, A.; AMIROVA, T.; MISHINA, V.; The research of the production function of an industrial enterprise. **SHS Web of Conferences**, v. 35, p. 1-4, 2017.

ROUVOY, R. Middleware Support for Self-Adaptation in Ubiquitous and Service-Oriented Environments. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, v. 5525, p. 164-182, 2009.

SOUSA, F.; MOREIRA, L.O.; MACHADO, J. C. Computação em Nuvem: Conceitos, Tecnologias, Aplicações e Desafios. Universidade Federal do Ceara. **ERCEMAPI 2009**. p.109-137, 2010.

SYAFRUDIN, M.; ALFIAN, G.; RHEE, J. Performance Analysis of IoT-Based Sensor, Big Data Processing, and Machine Learning Model for Real-Time Monitoring System in Automotive Manufacturing. **Sensors**, v. 18, n. 9, 2018.

SOLIC, P.; BLAZEVIC, Z.; SKILJO, M. PATRONO, L.; COLELLA, R.; RODRIGUES, J. J. P. C. Gen2 RFID as IoT enabler: characterization and performance improvement. IoT: protocol stack, cross-layer, and power consumption issues. **IEEE Wireless Communications**, p. 33-39. June 2017.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. 2. ed. São Paulo: Edipro, 2016. 160 p.

SCIUTO, J.; FILHO, A. As Relações Entre Estratégia De Produção E Produção Enxuta Em Uma Empresa Brasileira Do Setor Metal-mecânico. **XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO**. Santos, 2019

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; **Administração da Produção**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1997. 728 p.

SHROUF, F.; MIRAGLIOTTA, G. Energy management based on Internet of Things: practices and framework for adoption in production management. **Journal of Cleaner Production**. Ed.100, 2015, p. 235 - 246.

SINDIPEÇAS, **Desempenho do Setor de Autopeças 2019**. Informações Sindipeças, 2019. Disponível em: <<http://www.virapagina.com.br/sindipecas2019/1/>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

SINDIPEÇAS, **Desempenho do Setor de Autopeças 2018**. Informações Sindipeças, 2018. Disponível em: <<http://www.virapagina.com.br/sindipecas2018/1/>>. Acesso em: 19/02/2020.

SAARIKKO, T.; WESTERGREN, U. H.; BLOMQUIST, T. The Internet of Things: Are you ready for what's coming? **Business Horizons**, v. 60, p. 667-676, 2017.

SHENG, Q. Z.; LI, X.; ZEDADALLY, S. Enabling Next Generation RFID Applications: Solutions and Challenges. **IEEE Computer Society**, v. 41, n. 9, p. 21-28, 2008.

SHINGO, S.; **O Sistema Toyota de Produção - Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. BOOKMAN. 1ª Edição, 1996.

TAYLOR, F. W. **Princípios de Administração Científica**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 1971. 110 p.

TEIMOURY, E.; FATHIAN, M.; CHAMBAR, I. Automation of the supply chain performance measurement based on multi-agent system. *Int. J. Agile Systems and Management*, v. 6, n. 1, p. 25-42, 2013

VANALLE, R.; ALVES FILHO, A.; KURI, M. Estratégia competitiva e estratégia de produção: o caso de uma empresa de cosméticos. **Revista Produção**, v.10, n.2, p. 65-76, 2000

VANDIKAS, K.; TSIATSI, V.; STOCKHOLM E. R. Performance Evaluation of an IoT Platform. 8th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies. **IEEE Computer Society**. p 141-146. Suíça, 2014.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal Of Operations & Production Management**, v 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WANG, B.; GUAN, Z.; ULLAH, S.; XU, X.; HE, Z. Simultaneous order scheduling and mixed-model sequencing in assemble-to-order production environment: a multi-objective hybrid artificial bee colony algorithm. **Journal of intelligent manufacturing**. Ed.28, v2, p. 419-436, 2017.

WEN, Y.; LI, Z. A service-integrated sensor network middleware applied to industrial solutions of IoT related. **Telecommunication System**. ed.53, p. 61-68, 2013.

WORLDBANK, **Emprego e crescimento: a agenda da produtividade**. Documents & Reports,2018.<<http://documents.worldbank.org/curated/en/203811520404312395/Empr ego-e-crescimento-a-agenda-da-produtividade>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

YELAMARTHI, K.; AMAN, S.; ABDELGAWAD, A. An Application-Driven Modular IoT Architecture. **Wireless Communications and Mobile Computing**, 2017, Vol.2017, p.01-16.

YIN, R. K. **Estudo de Caso** – Planejamento e Método. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2010.

ZHONG, R. Y.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. T. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616–630, 2017

ZHENG, P.; WANG, H.; SANG, Z.; ZHONG, R. Y.; LIU, Y.; LIU, C. ; MUBAROK, K. ; YU, S. ; XU, X. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 13, n. 2, p. 137-150, 2018.

ZHU, L.; JOHNSON, C.; VARISCO, M.; SCHIRALDI, M. M. Key performance indicator for manufacturing operations management - gap analysis between process industrial needs and ISO 22400 standard. **8th Swedish Symposium**, p. 16-18, 2018.

ZHOU, Z.; LIU, X.; PEI, J.; PARDALOS, P. M.; LIU, L.; FU, C. Real options approach to explore the effect of organizational change on IoT development project. **Optimization Letters**, v.11, n.5, p.995-1011, 2017.

ZHUANG, C.; LIU, J.; XIONG, H. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology** . v. 96, p.1149–1163, 2018.

ZHANG, Y.; ZHANG, G.; JUNQIANG, W.; SHUDONG, S.; SHUBIN, S.; TENG, Y. Real-time information capturing and integration framework of the internet of manufacturing things. **International Journal Of Computer Integrated Manufacturing** v. 28, n. 8, mar 2014.

ZHANG, D.; HUANG, H.; JO, M. Future RFID technology and applications: visions and challenges. **Telecommunication Systems**, v. 58, n. 3, 2015.

ZHONG, R. Y. *et al.* RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass customization production. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, China, v. 29, n. 2, p. 283-292, 2012.