

IIoT: análise de aspectos tecnológicos, desafios e tendências para definições de diretrizes de implementação na indústria

Daniel Pasinato e Fabrício Liberali Campana

Resumo

Este documento fornece uma visão geral da Internet das Coisas Industrial do termo em inglês *Industrial Internet of Things* (IIoT), com ênfase no estudo dos desafios, tendências e oportunidades a respeito deste tema para desenvolvimento de diretrizes na contratação de projetos. A IIoT é possibilitada pelos mais recentes desenvolvimentos em tecnologias de transmissão, sensores, comunicação e protocolos que tornaram os projetos mais acessíveis a indústrias de menor porte. Porém, em decorrência dessa ampliação de possibilidades e ofertas, surge também os desafios com relação a padronização das aplicações e operacionalização. Por isso, neste artigo são abordados os desafios quanto a disponibilidade, eficiência energética, confiabilidade, escalabilidade, coexistência e interoperabilidade, segurança e privacidade. Ao tentar traçar as possíveis tendências, identifica-se que a tecnologia LPWAN é a forma mais promissora de transmissão de dados, devido suas características e benefícios com relação a eficiência energética, alcance e simplicidade da arquitetura. No entanto, muitos são os protocolos derivados dessa forma de transmissão, sendo que a padronização das aplicações na indústria pode ser inviável. Assim sendo, o trabalho propõe alguns modelos de contratação de serviços e projetos onde responsabilidades pelo bom funcionamento, de maneira harmoniosa com outras aplicações, sejam impostas aos fornecedores que devem garantir a estabilidade da solução. Além disso, também se propõe a utilização de uma camada de *middleware* para possibilitar a coleta de dados gerados nessas aplicações, viabilizando os mais diversos cruzamentos destas informações que podem gerar *insights* valiosos com a utilização de algoritmos de *Big Data* e *Machine Learning*, que buscam a obtenção de vantagens competitivas propostas pela Indústria 4.0.

Palavras-chave

Indústria 4.0, IoT, IIoT, Internet das Coisas Industriais.

IIoT: analysis of technological aspects, challenges and tendencies for guidelines definitions of implementation in industry

Abstract

This document provides an overview of the Industrial Internet of Things (IIoT), with emphasis on the study of the challenges, tendencies and opportunities regarding the guidelines development in the industry project's contracting. IIoT has become more accessible by the latest developments in transmission technologies, sensors, communications and protocols what made it possible for smaller industries to implement such projects. However, as a result of this expansion of possibilities and offers, challenges also arise in relation to the standardization of applications and operationalization. Therefore, in this article the challenges regarding availability, energy efficiency, reliability, scalability, coexistence and interoperability, security and privacy are approached. When trying to trace possible trends, identify whether LPWAN technology is the most promising form of data transmission, due to its characteristics and benefits with respect to energy efficiency, scope and simplicity of architecture. However, there are many protocols for this form of transmission, and the standardization of applications in the industry may not be feasible. Therefore, the work proposes some models for contracting services and projects where responsibilities for proper functioning, in harmony with other applications, are imposed on suppliers who must guarantee the stability of the solution. In addition, the use of a middleware layer is also collected to enable the collection of data generated in these applications, enabling the most diverse crossings of this information that can generate valuable insights with the use of Big Data and Machine Learning algorithms, which seek the advantages of competitive advantages proposed by Industry 4.0.

Keywords

Industry 4.0, IoT, IIoT, Industrial Internet of Things.

I. INTRODUÇÃO

Avanços da ciência e da tecnologia apoiam continuamente o desenvolvimento da manufatura ao redor do mundo. Embora Pós-Graduação em Engenharia 4.0 - Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Emails: dpasinato@gmail.com, fcampana@ucs.br

Data de envio: 28/08/2020

Data de aceite: 17/10/2020

<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v8iss2p123>

não exista um denominador comum a todos sobre o que constitui uma revolução industrial, da perspectiva da evolução tecnológica, há quatro estágios comumente identificados. As

três primeiras revoluções industriais se estenderam por aproximadamente dois séculos e podem ser listadas, respectivamente: (1) da introdução de instalações de fabricação mecânica a água e a vapor; (2) a aplicação de tecnologias de produção em massa acionadas eletricamente através da divisão do trabalho; e (3) o uso de eletrônicos e tecnologia da informação (TI) para apoiar a automação adicional da manufatura [1]. A partir disso, o conceito da Indústria 4.0 foi inicialmente proposto pelo governo da Alemanha em 2011 como parte de uma iniciativa para impulsionar a economia deste país [2]. Seguiu-se assim, juntamente com o aumento da atenção da pesquisa na Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) e Sistemas Cyber-Físicos (CPS – *Cyber-Physical Systems*), governos e indústrias em todo o mundo notaram essa tendência e agiram em benefício do que essa nova onda de revolução industrial poderia proporcionar [1].

Os rápidos avanços nos métodos de industrialização e informatização determinaram significativos avanços no desenvolvimento da próxima geração de tecnologia de manufatura [3]. Nesse sentido, o desenvolvimento da IoT está associado ao desenvolvimento da Indústria 4.0 e representa uma forte tendência na direção da nova revolução industrial. IoT integra vários dispositivos equipados com recursos de detecção, identificação, processamento, comunicação e rede [2].

A IoT pode ser descrita como a rede de objetos físicos como dispositivos, instrumentos, veículos, edifícios e outros itens incorporados através de eletrônicos, circuitos, software, sensores e conectividade de rede que permitem a esses objetos coletar e trocar dados [4].

IoT está associada a diversos movimentos chamados de *Smart* em uma conotação sugerindo que as coisas são dotadas de conhecimento e inteligência [2]. Existem as *Smart Cities* ou Cidades Inteligentes, *Smart Products* ou Produtos Inteligentes, *Smart Factory* ou Fábrica Inteligente, dentre outras aplicações [5]. No contexto da aplicação das tecnologias de IoT nos processos produtivos de indústrias também pode ser chamado de Industrial IoT ou IIoT [3]. Essa tecnologia é frequentemente vista como uma mudança de paradigma da Internet tradicional para um cenário em que todas as “coisas” serão conectadas à Internet. No entanto, um consenso comum sobre padrões e definições acerca desse tema ainda não foi alcançado [6]. O Industrial Internet Consortium [7] visa reunir organizações e tecnologias necessárias para acelerar o crescimento da Internet industrial, identificando, montando, testando e promovendo as melhores práticas. Os membros trabalham em colaboração para acelerar o uso comercial de tecnologias avançadas.

Outra questão relevante e recente enfrentada pela comunidade de pesquisa dessa tecnologia emergente é a ausência de uma visão funcional clara de diferentes componentes da IoT, trabalhando juntos de maneira coesa para alcançar o fenômeno "conecte tudo" previsto, que serve ao objetivo maior de coletar informações e processá-las para uma melhor decisão [6]. Atualmente, a maioria dos dispositivos IoT é compatível apenas com dispositivos da mesma marca ou marcas de parceiros representando uma verdadeira competição de padrão entre fabricantes [8].

Na rotina das empresas manufatureiras, especialmente de grande porte, vê-se muitos fornecedores de longa data, como também *startups*, oferecendo tecnologias supostamente orientadas à Indústria 4.0, sobretudo voltadas ao universo da IoT e IIoT. Esse grande número de ofertas acaba atraindo a atenção e anseios das áreas de Engenharia Industrial para potenciais projetos pilotos de implementação de soluções dessa natureza. Porém, a falta de padronização dessas tecnologias acaba gerando grandes problemas de gerenciamento para áreas de Tecnologia da Informação das organizações que devem gerenciar esse grande número de sistemas, dados, integrações, tecnologias de radiofrequência, dentre outros aspectos relacionados a informatização dos processos de negócio. Por isso, o objetivo desse artigo será realizar uma avaliação sobre essas tecnologias, desafios e tendências para elencar diretrizes de aquisição, aplicação, comunicação e armazenamento de dados na indústria, focando em aplicações de chão-de-fábrica.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Indústria 4.0

Desde sua concepção, a quarta revolução industrial está atraindo muita atenção em estudos acadêmicos e da literatura recente e está intimamente relacionada e sustentada pela utilização de tecnologias de informação como o CPS (Cyber Physical Systems), IoT (Internet of Things), *Big Data*, Computação em Nuvem, Integração de Sistemas dentre outras tecnologias oferecidas pela evolução da computação [2]. Os desenvolvimentos e os avanços tecnológicos da Indústria 4.0 possibilitarão o fornecimento de uma variedade viável de soluções para as crescentes necessidades de informação nas indústrias de manufatura [3]. Esse tópico não é mais uma "tendência futura", estando presente no centro de agenda estratégica e de pesquisa de muitas empresas em todo o mundo [3].

A visão da indústria 4.0 é converter as máquinas comuns em máquinas com munidas de poder de decisão capacidade de autoaprendizagem para melhorar seu desempenho geral e gerenciamento de manutenção com a interação ao redor [9]. Esse momento da indústria é marcado por processos de automação e digitalização altamente desenvolvidos e pela utilização de tecnologias provenientes da eletrônica e da informática nos processos de fabricação e prestação de serviços. A integração e análise em tempo real de dados maciços otimizará os recursos no processo de fabricação e obterá melhor desempenho das organizações e da cadeia de valor [2]. A visão dessa revolução é a construção de uma plataforma de fabricação aberta e inteligente para aplicativos de informações em rede industrial. Monitorar dados em tempo real, rastrear o status e as posições do produto, bem como manter as instruções para controlar os processos de produção, são as principais contribuições a Indústria 4.0 [9].

B. IoT e IIoT

O desenvolvimento da Internet das Coisas está associado ao desenvolvimento da Indústria 4.0 e representa uma forte tendência na direção da nova revolução industrial [2]. Esse termo é creditado a Kevin Ashton em 1999 para descrever um

sistema em que a Internet está conectada ao mundo físico por meio de sensores e, desde então, enormes contribuições, como segurança, conectividade, eficiência energética e muito mais, foram feitas sobre o tema [4] e [8]. IoT integra vários dispositivos providos de recursos de detecção, identificação, processamento, comunicação [4]. Ao conectar seres humanos e máquinas, a IoT transfere e integra conhecimento entre pessoas e organizações [5]. Ao gerar grande quantidade de informações e conhecimento, a IoT proporciona um melhor entendimento de padrões de comportamento e busca o aumento da eficiência e eficácia nos processos de negócio [2].

Sistemas IoT podem ser alcançados pelos últimos desenvolvimentos em RFID, sensores, tecnologias de comunicação e protocolos de Internet [5]. A base da IoT pode ser considerada uma infraestrutura de rede global composta por vários dispositivos conectados que dependem de tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações [3]. A premissa básica é ter sensores colaborando diretamente sem o envolvimento humano para fornecer uma nova classe de aplicações. Nos próximos anos, espera-se que a IoT faça a ponte entre diversas tecnologias para habilitar novos aplicativos conectando objetos físicos juntos em apoio à tomada de decisão inteligente [5].

Um requisito crítico da IoT implica que as coisas na rede devem estar conectadas. Assim, a arquitetura do sistema de IoT deve garantir as operações para que seja possível alcançar a almejada conexão entre os mundos físico e virtual [4]. IoT deve ser capaz de interconectar bilhões ou trilhões de objetos heterogêneos através da Internet, assim há uma necessidade crítica uma arquitetura em camadas flexíveis [5]. O design da arquitetura da IoT envolve muitos fatores, como rede, comunicação, processos. Por isso, ao projetar-se a arquitetura da IoT, a extensibilidade, escalabilidade e operacionalidade entre os dispositivos devem ser levadas em consideração [4]. Devido ao fato de que as coisas podem se mover e precisar interagir com outras pessoas em tempo real, a arquitetura da IoT deve ser adaptável para fazer com que os dispositivos interajam dinamicamente e oferecer suporte à comunicação entre todos os elementos do sistema. Dessa maneira, a IoT deve possuir a natureza descentralizada e heterogênea. Usualmente a arquitetura de um sistema IoT possui as camadas de Sensoriamento, Rede de dados, Serviços e Interface, conforme demonstrado na Figura 1.

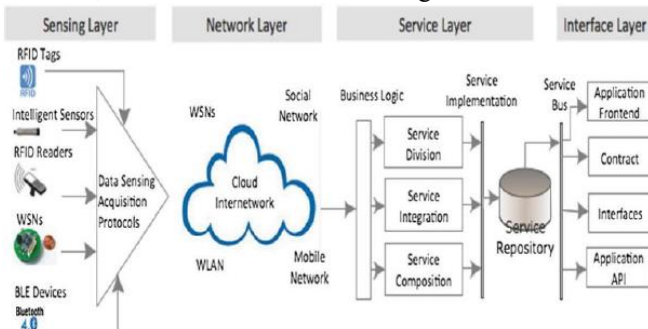


Figura 1 - Arquitetura IoT [4]

A derivação dessa tecnologia aplicada diretamente na manufatura é denominada *Industrial Internet of Things* (IIoT)

[10]. Como um subconjunto da IoT (Figura 2), a IoT Industrial (IIoT) abrange os domínios das tecnologias de comunicação máquina a máquina (M2M) e de comunicação industrial com aplicativos de automação [11].

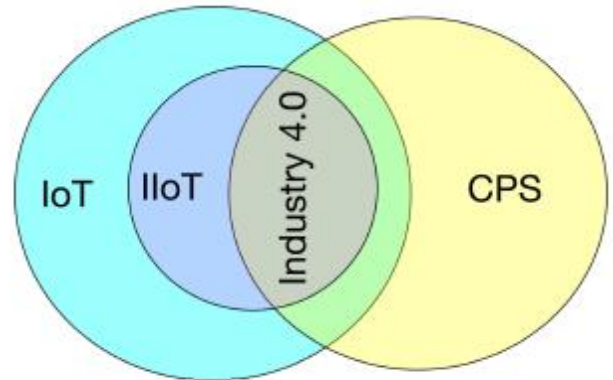


Figura 2 - IoT, CPS, IIoT, e Industry 4.0 [11]

A IIoT abre caminho para uma melhor compreensão do processo de fabricação, possibilitando assim uma produção eficiente e sustentável [11]. IIoT é creditada por aumentar a visibilidade dos processos de produção e a transparência das decisões de controle. Também está participando ativamente das inovações em andamento dos sistemas ciber-físicos (CPSs) [10]. As práticas industriais empregam fortemente dados de domínio da tecnologia operacional (OT) em suas atividades de produção, como monitoramento de desempenho de ativos, otimização do fluxo de trabalho e gerenciamento de segurança da planta [10].

O volume e as categorias de informações industriais exibem um crescimento manifesto. Uma máquina moderna provida de um controle numérico por computador (CNC), por exemplo, já produz dados na ordem de 30 Terabytes (TB) por ano [12], e estima-se que uma fábrica de grande escala conectada com inteligência gerará 1 Petabyte (PB) de dados por dia [13]. Frente estes indicativos, vê-se a importância de propor uma arquitetura de solução que enderece bem questões relacionadas a aquisição, transmissão, armazenamento e processamento destes dados.

Historicamente, os Sistemas de Automação e Controle Industrial (IACS – *Industrial Automation Control System*) eram amplamente isolados de redes digitais convencionais, como Redes de Dados corporativos. Onde a conectividade era necessária, era estabelecida uma arquitetura em zonas, com firewalls e / ou zonas desmilitarizadas usadas para proteger os componentes principais do sistema de controle [14]. As tecnologias sem fio em aplicações industriais eram baseadas principalmente em soluções ad hoc, desenvolvidas individualmente para conectar peças móveis ou dispositivos de difícil acesso [11]. Porém, recentemente a Internet das Coisas Industrial (IIoT) fornece arquiteturas personalizadas e interfaces padronizadas na aquisição, transmissão e análise de dados para aplicações industriais [10]. Foram lançados os padrões projetados propositadamente para o setor (por exemplo, WirelessHART e ISA100.11a). No entanto, eles

enfrentam limitações em termos de escalabilidade e cobertura quando áreas muito grandes precisam ser acessadas [11].

Nas implantações da IIoT, dispositivos sem fio são cada vez mais usados para melhorar a conectividade operacional dos serviços de dados industriais, como a coleta maciça de dados de processos, a comunicação com robôs industriais e o rastreamento de máquinas, peças, produtos no chão de fábrica [10]. Embora as tecnologias celulares, como as tecnologias 3/4/5G, prometam conectar dispositivos a longas distâncias, elas exigem suporte de infraestrutura e banda com propriedade licenciada. Os aplicativos IIoT geralmente exigem taxa de transferência relativamente pequena por nó e a capacidade não é uma preocupação importante. Em vez disso, a latência, a eficiência energética, o custo, a confiabilidade e a segurança e privacidade recursos são recursos mais desejados vista a necessidade de conectar um número muito grande de dispositivos à Internet a baixo custo, com recursos limitados de hardware e recursos energéticos (por exemplo, baterias pequenas) [11].

C. Desafios da IIoT

Na Internet das Coisas, dispositivos móveis e tecnologias de comunicação máquina-máquina (M2M) podem ser vistas como a primeira fase da IIoT. Nos próximos anos, espera-se que a IIoT faça a ponte entre diversas tecnologias para habilitar novos aplicativos conectando objetos físicos juntos em apoio à tomada de decisão inteligente [5]. Um dos principais motivos para a adoção da IIoT por indústrias, empresas de serviços públicos, produtores agrícolas e prestadores de serviços de saúde é aumentar a produtividade e a eficiência por meio de gerenciamento remoto e inteligente [11].

A pesquisa a respeito de IoT já percorreu um distante caminho desde a sua criação, ainda assim, existem muitos entraves e desafios que precisam ser considerados e tratados. A especificação da IoT exige que uma vasta variedade de dispositivos, incluindo sensores, atuadores, elementos de rede estejam conectados à Internet. Esses dispositivos são heterogêneos em termos de marca e mecanismos. Considerando esse aspecto, além da elevada quantidade de dispositivos, o controle a distância (remoto) ou na nuvem parece ser uma tarefa intimidante, que deve enfrentar empecilhos com escalabilidade limitada [6].

Os efeitos da propagação de ondas e sinais no ambiente sem fio incluem a atenuação de sinais irradiados como efeito da distância (também conhecida como perda de caminho), o bloqueio de sinais ocasionados por grandes obstáculos (também chamados de sombreamento) e a recepção de várias cópias do mesmo sinal transmitido (também chamado de desbotamento de caminhos múltiplos). A interferência da rede ocorre quando há acúmulo de sinais indesejados irradiados por outros transmissores, internos ou externos à rede, o que afeta a recepção do sinal nos nós receptores da rede de maneira indesejada [15].

Na IoT, a maioria dos objetos é restrita em recursos. Por esse motivo, quase tudo que funciona na Internet atual requer uma versão leve da IoT. Uma análise rápida dos modelos mais comuns de acesso à Internet de maneira *wireless* (sem fio) revela que a pilha atual de protocolos da Internet não leva em

consideração as limitações da IoT. Na Internet atual a ineficiência destes protocolos considerados pesados vale suas vantagens, mas na IoT cada byte conta [8].

Os desafios da IoT têm um significado diferente em cada camada, seja de sensoriamento (energia, protocolos, capacidade), rede (largura de banda, latência, topologia, mobilidade) ou dados (multidimensional, origens múltiplas, tamanho, criptografia) [16]. Realizar a visão da IIoT não é uma tarefa fácil devido aos muitos desafios que precisam ser enfrentados [5] e [11]. A seguir esses desafios estão listados com certo nível de aprofundamento.

No que se refere a disponibilidade: deve ser realizada nos níveis de hardware e software para fornecer serviços em qualquer lugar e momento. A disponibilidade do software refere-se à capacidade dos aplicativos de suportar serviços para todos em diferentes locais simultaneamente. A disponibilidade de hardware refere-se à existência de dispositivos operantes a todo momento e compatíveis com as funcionalidades e protocolos da rede existente [5].

No que se refere a eficiência energética: em muitas aplicações deseja-se que dispositivos IIoT funcionem por anos movidos a baterias. Isso exige o design de sensores de baixa potência, que não precisam de substituição da bateria durante sua vida útil. Isso cria uma demanda por projetos com elevada eficiência energética. Para complementar esses projetos, as abordagens da camada superior podem desempenhar papéis importantes por meio de operação com tal eficiência. Muitos esquemas de eficiência energética para redes de sensores sem fio (WSN – Wireless Sensors Network) foram propostos nos últimos anos, mas essas abordagens não são imediatamente aplicáveis à IIoT. Os aplicativos IIoT geralmente precisam de uma implantação densa de vários dispositivos. Os dados detectados podem ser enviados na forma coletada ou de forma contínua, que em uma implantação mais densa pode consumir uma quantidade de energia significativa. Portanto, a chamada “rede verde” é essencial na IIoT para reduzir o consumo de energia e os custos operacionais. Além disso, reduzirá a poluição e as emissões e aproveitará ao máximo a vigilância e a conservação ambiental [11].

No que se refere a confiabilidade: refere-se ao bom funcionamento do sistema dentro de suas especificações. A confiabilidade visa aumentar a taxa de sucesso da prestação de serviços de IoT. Possui estreita relação com a disponibilidade, pois, pela confiabilidade, é garantida a disponibilidade de informações e serviços ao longo do tempo. A confiabilidade é ainda mais crítica e possui requisitos mais rigorosos quando se trata de aplicações que exigem resposta à emergências [5]. A aceitação e a adaptação do cliente estão diretamente conectadas ao sucesso de qualquer tecnologia e são altamente influenciadas pela confiança nessas tecnologias. A implantação bem-sucedida de sistemas baseados em IIoT pelos clientes comerciais também é afetada pela confiança nesses sistemas. Os sistemas IIoT ainda são embrionários e a maioria da literatura de pesquisa recente destacou a segurança e a privacidade como um grande desafio enfrentado por esses sistemas, que serão abordados mais adiante neste artigo. A segurança e a privacidade da tecnologia estão fortemente ligadas à confiança de seus clientes; portanto, falhas na segurança e a privacidade dos sistemas IIoT podem

desmotivar os interessados na adoção desses sistemas [17]. Os dispositivos IIoT usualmente são implantados em ambientes ruidosos e, muitas vezes, utilizados para suportar aplicativos essenciais e de segurança com requisitos rigorosos de tempo e confiabilidade de coleta de dados ambientais e a entrega adequada de decisões de controle. O agendamento de pacotes com intervalo de tempo na IIoT desempenha um papel crítico na obtenção da QoS (*Quality of Services* ou Qualidade dos Serviços, em português) desejado. Por exemplo, muitas redes sem fio industriais executam o gerenciamento de recursos de rede através do agendamento estático da camada de enlace de dados para obter uma comunicação determinística em tempo real. Essas medidas geralmente adotam uma abordagem periódica para reunir o status de integridade da rede e, em seguida, recalculam e distribuem as informações atualizadas da programação da rede. Esse processo, no entanto, é lento, não escalonável e gera uma sobrecarga considerável na rede. O crescimento exponencial das aplicações da IIoT, especialmente em termos de escala e complexidade, aumenta extremadamente o nível de dificuldade em garantir o desempenho desejado em tempo real. O fato de a maioria da IIoT precisar lidar com distúrbios inesperados agrava ainda mais essa situação. Distúrbios inesperados podem ser classificados em distúrbios externos do ambiente que está sendo monitorado e controlado (por exemplo, detecção de uma emergência, pressão súbita ou mudanças de temperatura) e distúrbios internos na infraestrutura da rede (por exemplo, falha no link devido a interferência de múltiplos usuários ou condições climáticas) mudanças na relação sinal / ruído do canal). Em resposta a vários distúrbios internos, muitas abordagens de programação centralizada foram propostas. Existem também alguns trabalhos de adaptação a distúrbios externos em sistemas críticos de controle. Somente recentemente começou-se a verificar alguns enfoques sobre gerenciamento de recursos híbridos e totalmente distribuídos para a IIoT. No entanto, como garantir um tempo de resposta limitado para lidar com distúrbios simultâneos ainda é um problema em aberto [11]. A vasta adaptação dos recursos heterogêneos dos dispositivos IIoT leva a um aumento radical no volume de dados. Sensores e atuadores integrados a dispositivos industriais geram uma quantidade maior de dados detectados com alta velocidade. Os dados detectados são armazenados nesses dispositivos IIoT heterogêneos, onde servidores de gateway locais e servidores em nuvem são usados para tomada de decisão em tempo real e futura. O processamento, transmissão, disponibilidade, armazenamento de dados detectados é uma tarefa desafiadora e requer grandes esforços. Para enfrentar esses desafios, são necessários modelos eficientes de gerenciamento de dados. Esses modelos de gerenciamento de dados devem ser capazes de lidar com eficiência a enorme quantidade de dados brutos gerados por dispositivos IIoT heterogêneos de maneira eficaz. Esses modelos também devem fornecer aos serviços de gerenciamento de dados um processamento em alta velocidade, armazenamento de dados confiável e seguro, recuperação e fluxo rápido de dados [17].

No que se refere a escalabilidade: refere-se à capacidade de adicionar novos dispositivos, serviços e funções sem afetar negativamente a qualidade dos serviços já em operação.

Adicionar novos elementos e garantir suporte a operação não é uma tarefa fácil, especialmente na presença de diversas plataformas de hardware e protocolos de comunicação [5]. A escalabilidade na IoT, requer protocolos de comunicação padronizados e novos modelos e topologias de rede distribuídos e dinâmicos [16].

No que se refere a coexistência e interoperabilidade: recentemente, a IIoT está atraindo crescente atenção da academia e da indústria. A comunicação na IIoT é obrigatória para a troca de informações. Portanto, a comunicação na IIoT deve ser capaz de conectar um expressivo número de dispositivos heterogêneos, fornecer largura de banda suficiente para transferir dados e oferecer um comportamento determinístico com baixa latência. Além disso, algumas aplicações industriais têm alguns requisitos de tempo, confiabilidade, disponibilidade e segurança críticos. Muitas tecnologias, protocolos e padrões de comunicação são usados na IIoT. Recentemente, o sistema sem fio e dispositivos sem fio estão ganhando muita atenção em contraste com a comunicação cabeada do passado. A coexistência de diferentes sistemas e protocolos sem fio também impõe muitos desafios. A questão é qual tecnologia e protocolo de comunicação é o melhor para determinada aplicação. Uma tecnologia ou protocolo sem fio não pode oferecer todos os recursos e pontos fortes que atendem aos vários requisitos de aplicação no IIoT. Portanto, a seleção da tecnologia de comunicação e do protocolo mais adequado é um grande desafio [17].

Com o rápido aumento da conectividade IIoT, haverá muitos dispositivos coexistentes implantados nas proximidades do espectro limitado de ondas de radiofrequência. Portanto, a interferência entre os dispositivos deve ser tratada para mantê-los operacionais. Alguns dispositivos IIoT existentes já contêm memória e algoritmos limitados para combater a interferência ou mantê-la no mínimo. Isso deve ser uma verdade para a maioria dos dispositivos IoT no futuro próximo. Embora exista um longo caminho no desenvolvimento e tratativas da coexistência em redes sem fio, considerando redes WiFi, IEEE802.15.4, Bluetooth, etc., elas não funcionarão bem para aplicações IIoT. Devido às implantações densas e em larga escala, esses dispositivos podem estar sujeitos a um número sem precedentes de interferências. Para garantir uma boa coexistência, será imprescindível que futuros dispositivos IIoT possam detectar, classificar e mitigar tais interferências de âmbito externo. De modo recente, alguns trabalhos relacionados à classificação de interferência via detecção de espectro em dispositivos IIoT foram apresentados, mas eles podem não ter considerado todos os aspectos importantes, pois é necessária uma janela de amostragem muito extensa, além disso, os sensores de espectro propostos precisam de muito mais memória do que o disponível nos existentes. O rápido crescimento das tecnologias IIoT também geram requisitos de interoperabilidade. No futuro, um ecossistema digital totalmente funcional exigirá compartilhamento contínuo de dados entre máquinas e outros sistemas físicos de diferentes fabricantes. A falta de interoperabilidade entre os dispositivos IIoT aumentará significativamente a complexidade e o custo da implantação e integração da IIoT. O impulso para a

interoperabilidade será ainda mais complicado pela longa vida útil de equipamentos industriais típicos, que pode exigir *retrofitting* (termo em inglês que significa a renovação, reforma de máquinas) ou substituição dispendiosa desses equipamentos para funcionar com as mais recentes tecnologias da IIoT [11].

No que se refere a segurança e privacidade: conforme mencionado no tópico destinado a Confiabilidade, a segurança e privacidade apresenta um desafio significativo para as implementações da IoT devido à falta de padrão e arquitetura comuns nesse tipo de aplicação. Em redes heterogêneas, como no caso da IIoT, não é tarefa fácil garantir essa segurança de dados [5]. Em geral, a IIoT é uma rede de comunicação com recursos limitados, que depende em grande parte de canais de baixa largura de banda para comunicação entre dispositivos leves em relação à CPU (processamento), memória e consumo de energia. Por este motivo, os mecanismos de proteção tradicionais não são suficientes para proteger os complexos sistemas IIoT, como protocolos de segurança, criptografia leve e garantia de privacidade. Para proteger a infraestrutura da IIoT, as técnicas de criptografia existentes nos WSNs industriais podem ser revisitadas antes de serem aplicadas para criar protocolos seguros da IIoT. Por exemplo, recursos escassos de computação e memória impedem o uso de criptografias onerosas, por exemplo, criptografia de chave pública (PKC). Esse desafio é mais crítico nas aplicações de dados massivos trocados com requisitos em tempo real. Isso significa que aspectos como segurança da plataforma, gerenciamento de segurança, gerenciamento de identidade e gerenciamento de direitos industriais devem ser levados em consideração durante todo o ciclo de vida dos sistemas e produtos. Existem várias propriedades de segurança a serem consideradas ao projetar uma infraestrutura IIoT segura. Em seguida são enumeradas algumas das características principais a serem consideradas a esse respeito. Número 1: Os dispositivos IIoT precisam ser resistentes a violações contra possíveis ataques físicos, como reprogramação não autorizada e roubo de segredo passivo, permitindo apenas que usuários autorizados atualizem o firmware de segurança no dispositivo. Número 2: O armazenamento do dispositivo IIoT deve ser protegido contra ameaças, mantendo os dados criptografados visando a confidencialidade. Número 3: A rede de comunicação entre os dispositivos IIoT deve ser protegida para manter a confidencialidade e a integridade. Número 4: A infraestrutura da IIoT precisa de mecanismos eficientes de identificação e autorização, para que apenas entidades autorizadas possam acessar o recurso da IIoT. Número 5: O sistema deve estar disponível em operação normal, mesmo com os danos físicos aos dispositivos por usuários mal-intencionados. Isso garante a robustez da IIoT. Usualmente, a criptografia de chave simétrica pode fornecer uma solução leve para dispositivos IIoT. No entanto, o armazenamento de chaves e o gerenciamento de chaves são grandes problemas ao usar a criptografia de chave simétrica, especialmente ao considerar dispositivos de baixa capacidade. Além disso, se um dispositivo na IIoT estiver comprometido, ele poderá vazar todas as outras chaves. O PKC geralmente fornece recursos mais seguros e baixos requisitos de armazenamento, mas sofre com uma alta sobrecarga computacional devido à

criptografia complexa. Portanto, reduzir a sobrecarga de protocolos de segurança complexos para sistemas de criptografia de chave pública continua sendo um grande desafio para a segurança da IIoT. Na PKC, a criptografia de curva elíptica fornece uma solução leve em relação aos recursos computacionais. Ele fornece um tamanho de chave menor, reduzindo os requisitos de armazenamento e transmissão. Nos sistemas IIoT, é importante fornecer a identificação para obter o acesso legal. A infraestrutura segura da IIoT deve garantir a identificação do objeto em relação à integridade dos registros usados nos sistemas de nomes, como o DNS (sistema de nomes de domínio). O DNS pode fornecer serviços de tradução de endereços de páginas para o usuário da Internet, no entanto, é de maneira insegura e permanece vulnerável a vários ataques deliberados. Esse desafio permanece válido mesmo para um ambiente limitado e fechado. Assim, sem a proteção de integridade da identificação, todo o sistema de nomes ainda é inseguro. Extensões de segurança para DNS, como DNSSEC (*Domain Name Service Extension*) aumentam a segurança e estão documentadas na IETF RFC4033. No entanto, devido à sua alta sobrecarga de computação e comunicação, é um desafio aplicar diretamente o DNSSEC à infraestrutura IIoT. Os dispositivos IIoT devem seguir esquemas e regras específicos para autenticação para trocar / publicar seus dados. Devido às restrições de recursos dos dispositivos IIoT, os esquemas de autenticação de baixo custo não foram fornecidos tanto quanto necessário. Embora os sistemas PKC forneçam métodos para a construção de esquemas de autenticação e autorização, ele falha ao fornecer uma autoridade de certificação raiz global, o que dificulta amplamente a implantação de muitos esquemas teoricamente viáveis. Sem fornecer a autoridade de certificação raiz global, torna-se muito desafiador projetar um sistema de autenticação seguro na IIoT. Dessa forma, atualmente, se for necessário fornecer a autenticação segura para dispositivos IIoT, exige-se a utilização das soluções de alto custo, o que é um conflito com o objetivo principal do princípio leve do IIoT. Além disso, é um grande desafio emitir uma certificação para cada objeto na IIoT, pois o número total de objetos pode ser enorme. A privacidade é um conceito muito amplo e diversificado. Muitas definições e perspectivas foram fornecidas na literatura. De um modo geral, a privacidade na IIoT é a garantia tríplice para: 1) conscientização dos riscos à privacidade impostos por dispositivos e serviços; 2) controle individual sobre a coleta e o processamento de informações; e 3) conscientização e controle do uso e disseminação subsequentes a qualquer entidade externa. Os principais desafios para a privacidade estão em dois aspectos: processo de coleta de dados e processo de anonimização de dados. Normalmente, o processo de coleta de dados lida com os dados colecionáveis e o controle de acesso a esses dados durante a coleta dos sinais das “coisas inteligentes”; anonimização de dados é um processo para garantir o anonimato dos dados por meio de proteção criptográfica e ocultação de relações de dados. Devido às restrições na coleta e armazenamento de informações privadas, a preservação da privacidade pode ser garantida durante a coleta de dados. No entanto, dada a diversidade dos dispositivos no anonimato de dados, diferentes esquemas

criptográficos podem ser adotados, o que é um desafio à preservação da privacidade. Enquanto isso, as informações coletadas precisam ser compartilhadas entre os dispositivos IIoT, e o cálculo dos dados criptografados é outro desafio para o anonimato dos dados [11].

No que se refere a tecnologias de *Analytics* e *Big Data*: Para alcançar a visão da IIoT e obter todos os benefícios do alto volume de dados gerados pelos dispositivos IIoT, existe uma alta demanda por tecnologias robustas e flexíveis de análise de *Big Data*. Os sistemas convencionais de gerenciamento de banco de dados são incapazes de produzir os resultados desejados, pois esses sistemas não conseguem processar e analisar a alta magnitude dos dados com eficiência. Processar os dados da IIoT em tempo real é considerada uma tarefa nobre, pois esses dados são usados para operações críticas de automação industrial em tempo real, como prever mau funcionamento, manutenção preditiva, redução de tempos de inatividade e detecção de anomalias. Assim, para atender às demandas variadas dos aplicativos IIoT (ou seja, taxas de dados, latência e confiabilidade), é necessário ter tecnologias de análise de *Big Data* eficientes e em tempo real para processamento robusto e eficiente dos dados gerados pelos dispositivos IIoT. Essas tecnologias de análise de dados também fornecem processamento e visualizações de dados para dar suporte a todo o ciclo de vida do produto para obter uma visão completa dos negócios [17].

D. Tendências da IIoT

As tecnologias LPWAN IoT alcançam uma operação de baixo consumo de energia usando várias abordagens de design com eficiência energética. Primeiro, geralmente formam uma topologia em estrela, que elimina a energia consumida pelo roteamento de pacotes em redes multi-hop. Segundo, mantém o *design* do nó simples, transferindo as complexidades para o *gateway*. Terceiro, usam canais de banda estreita, diminuindo assim o nível de ruído e estendendo o alcance da transmissão [11].

Conectar grande número de objetos físicos, como seres humanos, animais, plantas, *smartphones*, PCs, etc. equipados com sensores à Internet, gera o que é chamado de "*Big Data*". O *Big Data* precisa de armazenamento inteligente e eficiente. Obviamente, os dispositivos conectados precisam de mecanismos para armazenar, processar e recuperar dados. Mas o *Big Data* é tão grande que excede a capacidade dos ambientes de hardware e ferramentas de software usados com frequência para capturar, gerenciar e processá-los em um intervalo de tempo aceitável. A tecnologia emergente e em desenvolvimento da computação em nuvem é definida pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA (NIST) [21] como um modelo de acesso a uma rede sob demanda de fontes de computação configuráveis compartilhadas, como redes, servidores, armazéns, aplicativos e serviços. Os serviços em nuvem permitem que empresas utilizem componentes remotos de software e hardware de terceiros. A computação em nuvem permite que pesquisadores e empresas usem e mantenham muitos recursos remotamente, de forma confiável e a baixo custo. A IIoT emprega um grande número de dispositivos incorporados, como sensores e atuadores que geram o *Big Data*, que, por sua vez, exige cálculos complexos

para extrair conhecimento. Portanto, os recursos de armazenamento e computação da nuvem apresentam a melhor opção para a IIoT. Ou seja, a computação em nuvem é uma das grandes tendências da IIoT [5].

Outra forte tendência relacionada a computação em nuvem está relacionada a forma de contratação dessa tecnologia. O IaaS (*Infrastructure as a Service*) oferece um serviço de obtenção de servidores virtuais em poucos minutos e paga apenas pelo recurso que utiliza, onde é possibilitado o acesso à infraestrutura por meio da Internet. Essa estrutura normalmente é composta por servidor, armazenamento, processamento e outros dispositivos periféricos [22]. Além do IaaS, também existe o modelo de contratação tipo SaaS (*Software as a Service*) que consiste em um software hospedado conjuntamente em uma plataforma e infraestrutura onde não há licença de propriedade, mas o pagamento periódico por algum elemento de utilização – número de usuários, ou algum outro tipo de base de consumo [23].

Nesse tipo de contratação as responsabilidades pelo bom funcionamento da solução ficam a cargo do provedor, mediante o pagamento dos valores pré-estabelecidos no ato da contratação. Esse é um formato que tem ganhado cada vez mais popularidade devido à redução de custos derivados da manutenção de equipamentos e sistemas hospedados nos *datacenters* particulares das empresas, além da alta disponibilidade dos recursos e inexistência de desembolso inicial e grandes investimentos para aquisição desse tipo de infraestrutura [22]. Em suma, percebe-se grandes vantagens nesses formatos de contratação, onde pode-se abster de algumas responsabilidades em soluções tão ambíguas e complexas como IIoT.

Outro método promissor de acesso à Internet por meio da Internet das Coisas é a tecnologia 5G, que deve ser lançada ao público num futuro próximo [8].

As topologias ou modelos de rede (por exemplo, estrela, sem escala, etc.) são implementados para transmitir dados para a camada de nuvem por meio de nós coletores. Essa camada deve fornecer as melhores topologias para cobrir diferentes áreas. O consumo de energia também depende da topologia implementada. A largura de banda de transmissão deve ser equilibrada com o desempenho da rede, o consumo de recursos e a realidade dos dados detectados para o registro de dados na nuvem. Tais desafios exigem a implementação de tecnologias de *Machine Learning* e *Big Data* para classificar dados detectados e determinar os principais eventos críticos que precisam ser agendados com alta prioridade para a verificação periódica, o que também depende da extração de padrões de previsão dos dados históricos aprendidos [16].

O futuro da Internet das Coisas, computação em nuvem e *Big Data* se tornam os principais objetivos de pesquisa em importantes instituições de tecnologia da Europa [12]. Inteligência artificial (IA) e mineração de dados são as melhores soluções para gerenciar grandes fluxos e armazenamento de dados. Os métodos de IA incluem lógica difusa (retransmissão em regras "se-outro") e redes neurais (retransmitem a existência de uma função de transformação). As etapas de mineração de dados são a preparação, filtragem, agregação, seleção, transformação, mineração e avaliação de padrões [8].

E. Oportunidades da IIoT

O sistema IoT Industrial (IIoT) permite que o setor colete e análise uma grande quantidade de dados, que podem ser usados, monetizados e melhorar o desempenho geral dos sistemas para fornecer novos tipos de serviços [17].

O setor de redes sem fio está gradualmente mudando seu interesse em relação à LPWAN. As tecnologias LPWAN (SigFox, LoRa, Weightless-W etc) propõem com sucesso conectividade em áreas amplas, de alguns a dezenas de quilômetros, para aplicações de baixa taxa de dados, baixa potência e baixo rendimento [1].

A IIoT também oferece oportunidades para melhorar a eficiência, a segurança e as condições de trabalho dos trabalhadores. Por exemplo, o uso de veículos aéreos não tripulados permite inspecionar oleodutos, monitorar a segurança de alimentos minimizar a exposição dos trabalhadores a ruídos e gases ou produtos químicos perigosos em ambientes industriais [10].

As possibilidades de negócios oferecidas pela publicação de dados IIoT são bastante promissoras e variam de uma maior confiabilidade com uma topologia mais estável das redes de fabricação estruturais e funcionais, cooperação mais confiável entre parceiros da rede de manufatura e, posteriormente, uma rede de manufatura mais ecológica devido a uma maior transparência do fluxo de informações e gerenciamento de recursos mais eficaz que o acompanha [18].

III. MÉTODOS

A proposta estabelecida para desenvolvimento desse trabalho visa a pesquisa exploratória de material relevante acerca do tema IIoT, seus principais aspectos, limitações, desafios, tendências e oportunidades. Esse assunto tem sido alvo de diversos estudos ao redor do mundo, mas sua natureza recente implica na limitação de literatura abrangente que trata de temas específicos da aplicação dessa tecnologia.

Sendo elencada como uma das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 segundo estudos da academia alemã de ciência e engenharia [19], a IIoT vem se mostrando matéria de constante exploração em catálogos de ofertas de diferentes provedores de soluções tecnológicas para indústrias, que vão desde gigantes do segmento de sistemas e softwares até *startups* localizadas em incubadoras de polos tecnológicos. Fato é que muitos estão tentando capitalizar contratos e vendas sobre o tema, mas pouco se tem visto com relação a preocupações de padronização e segurança da informação.

A partir dessa observação dos movimentos do mercado com relação a esse tópico, tem-se como intuito buscar maior entendimento dessa tecnologia e, especialmente, suas limitações e tendências para propor diretrizes a serem aplicadas em políticas de aquisição e contratos com fornecedores, além do estabelecimento de diretivas para aplicação das potenciais soluções, instalação de aplicações e softwares na infraestrutura de servidores, comunicação e armazenamento dos dados. A Figura 3 mostra a abordagem utilizada para seleção de literatura a respeito do objeto de estudo desse trabalho, além do processo de definição das diretrizes a serem estabelecidas a partir do aprendizado adquirido.

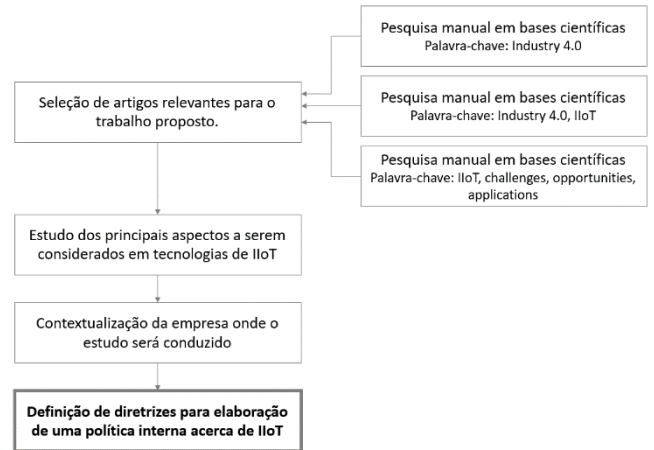


Figura 3 - Seleção de literatura e processo de definição das diretrizes sobre IIoT

IV. RESULTADOS

Iniciar-se-á com uma breve contextualização da indústria onde a proposta de diretrizes e sugestões a respeito da aplicação da IIoT será abordada. A partir disso, serão apresentados esses direcionadores sugeridos com base na estrutura da empresa, suas pretensões, aspirações e estratégias, somado ao entendimento do tema com base na literatura estudada no referencial teórico.

A. Contextualização da empresa

A companhia em questão é um conglomerado de nove empresas que são referência global em soluções para o transporte, mantém parcerias estratégicas com empresas de classe mundial e exporta para todos os continentes. Está entre as maiores empresas privadas brasileiras, possuindo a liderança na maior parte dos segmentos de atuação e faz parte do Nível 1 de Governança Corporativa da Bovespa.

O conglomerado de empresas conta com a mais completa linha de equipamentos para o transporte de carga terrestre, com veículos rebocados (reboques e semirreboques), vagões ferroviários e veículos especiais.

Além disso, é um dos grandes *players* brasileiros em autopeças e sistemas automotivos, fornecendo para clientes de classe mundial tanto no Brasil quanto no exterior.

Já no ramo de serviços, atua com consórcio de máquinas, imóveis, veículos, dentre outros e com o um banco próprio, com linhas de financiamento para fornecedores e clientes.

Essa empresa possui em sua essência a manufatura de produtos que atendem montadoras e clientes finais. Produz um dos maiores portfólios de produtos relacionados ao transporte de cargas do Brasil, atuando em três grandes segmentos:

- Implementos e Veículos (reboques/semirreboques, vagões ferroviários e veículos fora-de-estrada);
- Autopeças (Materiais de fricção, sistemas de eixos e suspensões, sistemas de freios, sistemas de acoplamento e sistemas de ponta de eixo para a indústria automotiva, além de outros componentes);
- Serviços Financeiros (Consórcios e crédito bancário).

Atualmente, a empresa tem posição de liderança em grande parte dos produtos que fabrica para o mercado nacional, além de ter relevante presença internacional, chegando com seus produtos a mais de 100 países em todos os continentes.

Devido sua vocação manufatureira, muitas aplicações da Indústria 4.0 podem ser exploradas para aprimoramento dos seus processos produtivos. A empresa vem investindo na renovação de seu maquinário de chão-de-fábrica e equipamentos de apoio à produção bastante alinhados com os conceitos dessa nova revolução industrial, como também conceitos do *Lean Manufacturing*. Obviamente não seria possível renovar todo o parque fabril da empresa que opera no ramo da manufatura há mais de 70 anos, mas muitas mudanças que apontam na direção destas novas tecnologias estão sendo adotadas. No entanto, alterar o nível tecnológico de uma indústria desatualizada não é uma tarefa simples. Ao modernizar todos os equipamentos antigos através do chamado *retrofitting* em equipamentos capazes de gerar informações inteligentes, esse conceito surge como uma solução rápida e de custo razoável, voltada para a reutilização de equipamentos existentes, com a adição de novas tecnologias para coleta de dados e aplicação de novas funcionalidades que permitam um maior automatismo do equipamento [20]. Dessa maneira, em processos e operações julgadas críticas onde o desembolso para aquisição de equipamentos modernos se torna inviável, tem-se adotado a estratégia de reforma e *retrofitting* dessas máquinas para possibilitar a coleta de dados e intervenção do equipamento por meio de software.

Esse é um aspecto importante na avaliação de renovação e reforma do maquinário da empresa. Não faz sentido a aquisição de novos equipamentos com possibilidades de conectividade de dados onde o maquinário atual se mostra capaz de atingir as exigências de capacidade do processo. Nesses casos a estratégia de intervenção via *retrofitting* padronizado para conexão desses equipamentos é mais indicada [20].

Tais investimentos na modernização de equipamentos no chão-de-fábrica representam uma parcela das renovações em curso na empresa. Ela também vem se reestruturando com relação a sua rede de dados. Atualmente está em andamento um projeto com elevadas cifras que visa a renovação quase que total de sua rede de dados cabeada e sem fio. Além da modernização e maior estabilidade da rede a partir da utilização de equipamentos atualizados, o projeto pretende reestruturar sua arquitetura em que máquinas e equipamentos no chão-de-fábrica serão conectados. Essa reestruturação irá criar uma rede de dados industriais totalmente apartada da rede corporativa, respeitando conceitos e princípios da construção da rede para garantir o desempenho, disponibilidade e segurança nas conexões desses elementos tão críticos da empresa que são responsáveis diretos pela produção e consequente receita financeira. Ou seja, a evolução das relações de conexão entre tais dispositivos diretamente envolvidos com a atividade fim da empresa é acompanhada de riscos de parada e equivalente perda de faturamento decorrentes da falta de serviços e conexão de dados, algo que é cada vez mais relevante para os processos produtivos.

Além das mudanças na rede de dados sendo conduzidas no que diz respeito a infraestrutura de transmissão de dados, também existem iniciativas e projetos de renovação de servidores físicos em seu *datacenter*, como também a exploração de IaaS (*Infrastructure as a Service* ou infraestrutura no formato de serviço) onde há a possibilidade de hospedar sistemas e aplicações na chamada nuvem, que são servidores de empresas terceiras, como Microsoft, Amazon, Google, dentre outros provedores desses serviços, em que a cobrança é realizada conforme a utilização dos recursos, como espaço de armazenamento, memória, processamento.

Por fim, também existem diversos investimentos e projetos envolvendo a implementação de sistemas informatizados voltados a otimização da produção, como MES (*Manufacturing Execution System*) e APS (*Advanced Planning and Scheduling*), além de softwares de modelamento e simulação da fábrica, como o *Plant Simulation* da Siemens.

Todas essas iniciativas e projetos já em execução focam no alcance da visão de *Smart Manufacturing* alinhados com as tendências e diretrizes indicadas da Indústria 4.0, a fim de ser manter competitiva no mercado cada vez mais acirrado.

Ainda de encontro a esta visão, muitos são os fornecedores que apresentam potenciais soluções à determinadas dificuldades pontuais da empresa a partir de aplicações que se utilizam de sensores e atuadores conectados à rede de dados da empresa para aquisição de informações e resolução de problemas. Em outras palavras, a aplicação da IIoT. Muitos são os fornecedores que oferecem tal tipo de solução que vão de empresas de grande porte e referências mundiais da área de tecnologia, à pequenas *startups* incubadas em polos de fomento. Em ambos os casos, percebe-se a aplicação pontual de determinadas tecnologias, protocolos de comunicação, arquitetura de aplicação, dentre outros aspectos para resolução daquele processo específico, mas sem a visão sistêmica e preocupação com padronização ou segurança da informação.

Desta maneira, a seguir são apresentadas algumas conclusões a respeito da composição e realidade da empresa e, a partir do conhecimento registrado no tópico de referencial teórico, serão apresentadas as diretrizes a serem propostas no que tange a aquisição de tais soluções, aplicação, comunicação e armazenamento de dados.

B. Diretrizes para projetos IIoT

Entende-se que a companhia é bastante verticalizada e composta por várias empresas do setor de manufatura, as quais são consideradas unidades de negócio independentes, com objetivos e metas individuais. Por isso, áreas corporativas da organização têm dificuldades em manter padrões e sinergias de conceitos e aplicações, visto que cada unidade também tem autonomia para buscar soluções para necessidades pontuais.

Alguns exemplos de soluções que utilizam tecnologias de IIoT já experimentadas na empresa são 1) rastreamento de produtos na linha de fabricação para aquisição de dados referentes ao processo produtivo e reporte automático das ordens de produção. Também há 2) iniciativas para implantação de dispositivos munidos de sensores de localização, e temperatura a serem integrados aos crachás dos funcionários para obtenção de informações relativas aos tempos e eficiência das operações na produção, além de

controlar o tempo que cada funcionário pode ficar exposto a determinadas condições insalubres. Há ainda 3) aplicação deste tipo de dispositivo para localização de implementos rodoviários (produto acabado) estocados no pátio da empresa. Outra aplicação em teste é 4) a implantação de sensores sem fio de vibração em centros de usinagem para aprendizado do comportamento da máquina e aplicação de *Machine Learning* para detecção preditiva de falhas.

Cada uma das aplicações acima mencionadas utiliza diferentes tecnologias de transmissão de dados, com diferentes protocolos de comunicação, diferentes topologias de aplicação, diferentes formas de armazenamento e apresentação de dados. Sabe-se que essas tecnologias emergiram muito recentemente no mercado para aplicações na indústria e não há dúvidas que será extremamente difícil chegar a um denominador comum quanto a padronização de alguns elementos importantes da arquitetura de IIoT. Porém, algo deve ser feito com vistas a não permitir que cada aplicação seja tratada isoladamente, pois corre-se o risco de criar ilhas de aplicações que serão extremamente dispendiosas na tentativa de unificação e/ou integração com outros sistemas.

No que se refere a aquisição: existem algumas modalidades quanto a aquisição e contratação de soluções de IIoT. Algumas tratam da compra total da solução, desde componentes físicos da aplicação, como dispositivos, gateways, antenas, dentre outros componentes necessários, como também o licenciamento de software. Já há casos em que a solução completa pode ser adquirida no modelo de serviço, em que tanto os equipamentos físicos quanto o software são cobrados em mensalidades que são calculadas conforme a utilização desses recursos, também chamado de IaaS já mencionando anteriormente. Nesse modelo, usualmente, os dispositivos empregados na solução mantêm-se de propriedade do fornecedor em que o mesmo garante o bom funcionamento deles, realizando intervenções de manutenção quando necessário sem custo adicional para a empresa contratante. Da mesma maneira, o software utilizado para armazenamento e processamento de dados pode ser utilizado nesse modelo de contratação sem a necessidade de aquisição de licenças perpétuas, mas sim a partir de pagamentos de mensalidade que garantem o direito a sua utilização. Com relação a esse método de contratação, também há possibilidade de utilizar-se esse software em nuvem, em que não há necessidade de estabelecer uma estrutura física de servidores para hospedar o sistema na estrutura física de servidores da empresa.

A partir do exposto anteriormente, indica-se a utilização do modelo de negócio IaaS, visto que gera benefícios de ordem contábil, pois, dessa forma, equipamentos, licenças e servidores não fazem parte do ativo imobilizado da empresa que gera depreciação, além de permitir possíveis ajustes com relação a demanda. No caso de uma baixa de produção, pode-se reduzir o volume de equipamentos contratados para adequação de uma nova realidade, reduzindo proporcionalmente os custos. Igualmente, em eventual aumento de produção, é possível aumentar a quantidade de dispositivos e recursos dos servidores com um incremento no valor do contrato mensal.

O ônus desse tipo de contratação está relacionado com o armazenamento de dados que será discutido adiante. Em um contrato dessa natureza onde os dispositivos físicos são pertencentes ao fornecedor e uma mensalidade é paga no intuito de manter os equipamentos operantes, podem-se estipular cláusulas que garantam a disponibilidade, confiabilidade, escalabilidade, coexistência e interoperabilidade, segurança e privacidade. Ou seja, em acordos desse tipo, além de alguns benefícios abordados anteriormente com base nesse modelo de contrato, também pode-se endereçar alguns desses desafios discutidos, sendo exigido do fornecedor o bom funcionamento da solução para que seja autorizada e remunerada uma implementação de projeto IIoT.

No que se refere a aplicação: muitas são as aplicações derivadas das tecnologias de IIoT. Anteriormente foram elencados alguns exemplos de aplicação na empresa onde este estudo está sendo conduzido, mas as possibilidades são inúmeras. Com a aquisição de informações de equipamentos, somada a outras informações do ambiente será possível construir modelos matemáticos com alto grau de acuracidade de predição de acontecimentos e falhas. Além disso, também será possível realizar a comunicação entre máquinas (M2M) onde algum desvio do processo pode ser detectado e automaticamente corrigido, atingindo o mais elevado estágio da Indústria 4.0, a adaptabilidade [19].

De qualquer forma, aplicações podem ser extremamente variadas a depender de cada processo produtivo e das intenções e propósitos da empresa com essa aplicação. Fato é que essas informações devem ser compartilhadas entre as aplicações para que seja possível este nível de informatização dos processos.

No que se refere a comunicação: questões relacionadas a comunicação podem ser bastante delicadas em projetos de IIoT. A depender da aplicação desejada e a arquitetura estabelecida, muitos podem ser as formas de comunicação. Conforme foi abordado no tópico de referencial teórico, entende-se que esse é um aspecto ainda em pleno desenvolvimento e não há uma forma única ou que reúne todas os pontos fortes existentes, o que inviabiliza qualquer tipo de imposição para fins de padronização. A história prova que diferentes regiões adotam padrões diferentes devido a muitos fatores que podem variar de preço, complexidade de implementação ou até razões políticas. As tomadas de energia elétrica são um exemplo notável, elas existem há pelo menos um século, e diferentes padrões são adotados em todo o mundo [8]. Pode-se afirmar que não é algo indicado possuir vários tipos de tecnologias de transmissão de dados e protocolos de comunicação diferentes devido aos problemas de coexistência e interoperabilidade que podem ser gerados por interferências de ondas de radiofrequência, além das dificuldades geradas para integração dos dados e maior custo para manutenção de dispositivos distintos dedicados a diferentes aplicações. Porém, segundo colocado anteriormente, não será viável determinar uma única forma de comunicação entre dispositivos e sistemas corporativos. De qualquer maneira, as soluções devem ser contratadas para atender problemas pontuais e específicos onde a empresa contratada deve determinar a melhor forma de comunicação considerando

todos esses aspectos e garantindo uma comunicação eficiente dos dados. Uma forma interessante de convergir as informações de propriedade da empresa para sistemas corporativos pode ser um *middleware*. Como o nome sugere, o *middleware* é um software localizado no meio (entre camadas da arquitetura de soluções). O objetivo principal de um *middleware* é reunir diferentes sistemas para que eles possam interagir entre si. O papel desse elemento da solução não é apenas ativar a comunicação, mas também facilitá-la. Na IIoT, o *middleware* atua como um tradutor de informações, interpretando os dados recebidos da camada de IIoT e integrando-os à sistemas corporativos [8].

No que se refere a armazenamento de dados: normalmente contratos do tipo SaaS (*Software as a Service*) ou IaaS (*Infrastructure as a Service*) se utilizam de softwares hospedados em servidores externos (nuvem), onde as informações são coletadas pelos dispositivos IIoT e enviados à estes servidores que possuem aplicações específicas para melhor utilização e extração de *insights* a partir de lógicas de algoritmos e *Machine Learning*. Assim a base de dados do software da empresa provedora da solução é, de certa forma, totalmente desvinculada dos servidores da empresa contratante onde o acesso aos dados se dá a partir do uso de credenciais concedidas com o pagamento das mensalidades, onde o acesso usualmente se dá em um endereço de internet. Ou seja, todos os dados gerados a partir desses dispositivos ficam armazenados em um servidor de terceiros sendo que a extração dessas informações pode se tornar custosa e, muitas vezes, complexa. Essa extração é importante no que diz respeito ao cruzamento com outras informações de outros sistemas. Sem dúvidas encoraja-se a utilização de modelos de contrato desse tipo por algumas vantagens anteriormente citadas, no entanto é importante ter ciência que essa informação estará hospedada fora das dependências da companhia que apresenta riscos de segurança da informação e as dificuldades de acesso anteriormente apresentadas. Questões dessa natureza também devem ser endereçadas e garantidas no contrato de prestação de serviço. De qualquer forma, deve-se ter o entendimento por todas as partes envolvidas que os dados gerados são de propriedade da empresa contratante e podem ser requeridas e utilizadas da forma desejada. Então, a utilização de um *middleware* faz mais sentido para esses casos em que a informação inicialmente possa ser armazenada no formato e local desejado pela empresa antes que seja movida para servidores do fornecedor. Essa atitude visa a utilização dos dados para diversas aplicações e cruzamentos com outros dados de outros sistemas e geração de conhecimento a partir disso. Em resumo, qualquer aplicação de IIoT na empresa deve permitir o acesso irrestrito às informações geradas e isso deve ser um pré-requisito na contratação de qualquer projeto com qualquer fornecedor desse tipo de solução. Muitas vezes a coleta de dados específicos de algum processo pode gerar valiosos insights a base na aplicação de *Analytics* e *Machine Learning*. Ainda, o levantamento de dados de várias aplicações de IIoT pode levar a aplicações de *Big Data*. Para se atingir essa visão é necessária a utilização de um *middleware* que busca os dados pertinentes de cada uma das soluções de IIoT implementadas e as armazenam em uma base de dados comuns da

organização. Um tipo de aplicação desse tipo possivelmente deve se dar em um serviço em nuvem que contém grande poder de armazenamento de dados e processamento.

V. CONCLUSÕES

Tem-se observado que tecnologias emergentes da revolução industrial propostas pela Indústria 4.0 sendo experimentadas pelo mundo da manufatura vêm revolucionando os modelos de atuação das empresas no que diz respeito ao mercado, no modo como interagem com clientes, desenvolvem e ofertam seus produtos e serviços, em seus processos internos e nas relações com a força de trabalho. A pressão de concorrentes existentes, novos entrantes e mudanças decorrentes de avanços tecnológicos compelem a adoção de novas práticas de trabalho que visam reduzir custos e aumentar a eficiência dos seus processos. Frente estes desafios de mercado e as tendências da tecnologia, as empresas devem buscar se adaptar para que se beneficiem desse momento de transformação e não sejam surpreendidas por concorrentes ou eventuais entrantes.

Neste sentido, a aplicação da IIoT é uma das tecnologias habilitadoras para a Industrial 4.0 [19] que também viabiliza a aplicação de outras tecnologias como *Machine Learning*, *Big Data* e *Analytics*, buscando a manutenção da competitividade das empresas. Assim, este trabalho tinha por objetivo dissertar sobre alguns dos principais conceitos da Indústria 4.0, especialmente no que diz respeito a IIoT para buscar benefícios com a utilização deste tipo de tecnologia. Por tratar-se de um assunto recente, pouca literatura está disponível acerca de aplicações práticas e suas limitações. O intuito desse levantamento foi de buscar diretrizes para contratação e utilização da IIoT na indústria. Dentre os principais tópicos abordados estão os desafios, tendências e oportunidades com a aplicação dessa tecnologia. Muitos desafios foram levantados, onde foram consideradas a disponibilidade, eficiência energética, confiabilidade, escalabilidade, coexistência e interoperabilidade, segurança e privacidade, que também foram discutidas por Ala Al-Fuqaha [5]. Todos esses pontos levantados foram importantes para a definição das diretrizes estabelecidas no tópico de resultados, como também as informações sobre tendências e oportunidades elencadas. Entendeu-se que muitos desses desafios fogem do controle da empresa contratante da solução, sendo assim importante impor a responsabilidade do bom funcionamento da solução ao fornecedor contratado, em que todos os aspectos anteriormente apresentados precisam ser considerados e devidamente endereçados.

Ainda há muito a ser explorado e muitas lições a serem aprendidas em projetos de implantação de IIoT, devido sua recente exploração. A empresa objeto deste estudo já possui algumas soluções aplicadas para tratar de determinados processos, no entanto observam-se muitas empresas provedoras dessas tecnologias, dos mais diversos tamanhos, ofertando soluções de IIoT sem que haja certa padronização, o que gera dificuldades de gerenciamento para áreas corporativas. Dessa forma, a apresentação de diretrizes bem definidas que consideram vários desses aspectos abordados evidenciam que os objetivos do trabalho foram alcançados.

Neste artigo, foi oferecida uma visão geral da IIoT, na tentativa de focar nas definições de sua arquitetura e apresentar alguns dos principais protocolos que estão emergindo dos esforços de padronização, assim como também foi demonstrado em [11].

Ao iniciar o estudo de referencial teórico havia uma expectativa de elencar todos os desafios existentes e as melhores tendências de mercado na tentativa de propor uma forma padronizada de arquitetura de sistema e tecnologias. No entanto, o processo de exploração e aprendizado gerado pelo estudo desse material mostrou que a complexidade, ambiguidade e volatilidade desse tipo de solução não permite uma definição única que possa atender todas as necessidades e aplicações. Por isso, todas essas nuances inerentes da IIoT foram apresentadas no referencial teórico. Onde foi apresentada uma abordagem de utilização de SaaS e IaaS como opção para endereçar de forma mais eficiente questões da busca pelo bom funcionamento de todo o ambiente de soluções de IIoT.

De maneira prática, os achados elencados e apresentados nesse artigo têm grande potencial de serem seguidos e adotados de forma ampla por indústrias que também possuem dificuldades em gerenciar grande número de iniciativas de projetos de implementação de novas tecnologias e padronização decorrentes dessas iniciativas.

Conforme já mencionado, existe uma limitação com relação a material disponível nas bases acadêmicas sobre as aplicações de IIoT, bem como material que elenca limitações e tendências acerca do tema. Porém, identifica-se que muitos dos trabalhos considerados para a elaboração deste artigo tratam fortemente sobre tecnologias físicas de transmissão de dados e protocolos de comunicação, algo que não pode ser aprofundado neste trabalho de caráter exploratório. Assim, em futuras pesquisas, buscar-se-á por materiais que tratam de maneira mais técnica sobre esse conceito. Além disso, as diretrizes apresentadas podem ser mais bem detalhadas para geração de políticas definitivas a serem seguidas pela companhia.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Y Liao, F. Deschamps, E. F. Rocha Loures and L. F. Pierin Ramos, "Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal." *International Journal of Production Research*, Vol. 55, No. 12, 3609–3629, 2017.
- [2] Y. Lu, "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues," *Journal of Industrial Information Integration*, vol 6, pp. 1-10, 2017.
- [3] L. Da Xu, E. L. Xu and L. Li., "Industry 4.0: state of the art and future trends," *International Journal of Production Research*, Vol. 56, No. 8, 2941–2962, 2018.
- [4] P. Gokhale, O. Bhat and S. Bhat, "Introduction to IOT," *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, vol 5, pp. 41-44, 2018.
- [5] Ala Al-Fuqaha, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, Vol. 17, No. 4, pp. 2347-2376, 2015.
- [6] A. Singh, A. Payal and S. Bharti, "A walkthrough of the emerging IoT paradigm: Visualizing inside functionalities, key features, and open issues," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 143, pp. 111-151, 2019.
- [7] Industrial Internet Consortium, "About us." Available: <https://www.iic.org/index.htm> Accessed: 19-May-2020.
- [8] M. A. A. da Cruz, J. J. P. C. Rodrigues, J. Al-Muhtadi, V. V. Korotaev and V. H. C. de Albuquerque, "A Reference Model for Internet of Things Middleware," *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 5, No. 2, pp. 871-883, 2018.
- [9] S. Vaidyaa, P. Ambadb and S. Bhoslec, "Industry 4.0 – A Glimpse," *Procedia Manufacturing*, Vol. 20, pp. 233-238, 2018.
- [10] Y. Liu M. Kashef, K. B. Lee, L. Benmohamed and R. Candell, "Wireless Network Design for Emerging IIoT Applications: Reference Framework and Use Cases," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 107, No. 6, pp. 1166-1192, 2019.
- [11] E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag and M. Gidlund, "Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions," *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, Vol. 14, No. 11, pp. 4724-4734, 2018.
- [12] U. Sendler, "The Internet of Things: Industrie 4.0 Unleashed," Berlin, SpringerVieweg, 2017.
- [13] Cisco, "Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2015-2020," 2016. Available: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/service_provider/ciscoknowledgenetwork/files/622_11_15-16-Cisco_GCI_CKN_2015-2020_AMER_EMEAR_NOV2016.pdf , Accessed: 22-May-2020.
- [14] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham and T. Watson, "The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework," *Computers in Industry*, Vo. 101, pp. 1-12, 2018.
- [15] U. Noreen, A. Bounceur and L. Clavier, "A Study of LoRa Low Power and Wide Area Network Technology," *3rd International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing*, May 22-24, 2017, Fez, Morocco.
- [16] M. Younan, E. H. Houssein, M. Elhoseny and A. A. Ali, "Challenges and recommended technologies for the industrial internet of things: A comprehensive review," *Measurement*, Vol. 151, pp. 1-16, 2020.
- [17] W. Z. Khan, M. H. Rehman, H. M. Zangoti, M. K. Afzal, N. Armi and K. Salah, "Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges," *Computers and Electrical Engineering*, Vol. 81, pp. 1-13, 2020.
- [18] J. Ordieres-Meré, J. Villalba-Díez and X. Zhenga, "Challenges and Opportunities for Publishing IIoT Data in Manufacturing as a Service Business," *Procedia Manufacturing*, Vol. 39, pp. 185-193, 2019.
- [19] G. Schuh, R. Anderl, J. Gausemeier, M. Hoppel and W. Wahlster, "Industrie 4.0 Maturity Index." Available: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf, Accessed: 28-Apr-2020.
- [20] T. Lins and R. A. R. Oliveira, "Cyber-physical production systems retrofitting in context of industry 4.0," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 139, pp. 1-13, 2020.
- [21] F. Liu, J. Tong, J. Mao, R. B. Bohn, J. V. Messina, M. L. Badger and D. M. Leaf, "Cloud Computing Reference Architecture." Available: <https://www.nist.gov/publications/nist-cloud-computing-reference-architecture>, Access: 25-May-2020.
- [22] D. Rani and R. K. Ranjan, "A Comparative Study of SaaS, PaaS and IaaS in Cloud Computing," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 4(6), pp. 158-161, 2014.
- [23] S. Bhardwaj, I. Jain and S. Jain, "Cloud Computing: a study of infrastructure as a service (IaaS)," *International Journal of Engineering and Information Technology*, Vol. 2(1), pp. 60-63, 2010.