



Guia Orientativo

Uso de Tecnologias I4.0 e BIM em Gestão de Obras

FICHA TÉCNICA

PELA EQUIPE DO MDIC

EQUIPE TÉCNICA

Alessandra Teixeira
Dario Lopes
João Pignataro
Katia Helena de Oliveira Lima

REDE CATARINENSE DE INOVAÇÃO - RECEPETI

Diretor Presidente

Norberto Dias

Diretor Administrativo Financeiro

Rui Luiz Gonçalves

Coordenador do Projeto Construa Brasil

Rodrigo Broering Koerich

Gerente de Projetos

Paulo Alfredo Müller Filho

Secretária Executiva

Alba Schlichting

Líder da Submeta 7.1

Sergio Scheer

Equipe Técnica da Submeta 7.1

Alex Roda Maciel
Fabiano Rogério Corrêa
Sergio Scheer

GRUPO TÉCNICO CONSULTIVO | GTC

ABRAMAT

Laura Marcellini

ALTOQI

Edvânio Pacheco Teixeira

ANTAC

Dayana Bastos Costa
Regina Coeli Ruschel

Autodesk

Fernanda Machado

CEITEC

Eric Ericson Fabris

GS1 Brasil – Associação Brasileira de Automação

Marcelo Sá

SENAI SÃO PAULO

Cristiano Nascimento Alves

PARCEIROS

ACCA Software
Autodesk
Construtora MPD
Grupo Kallas
iBIM Projetos e Consultoria
Senai São Paulo

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Gadioli Branding



AGRADECIMENTOS

ABCIC

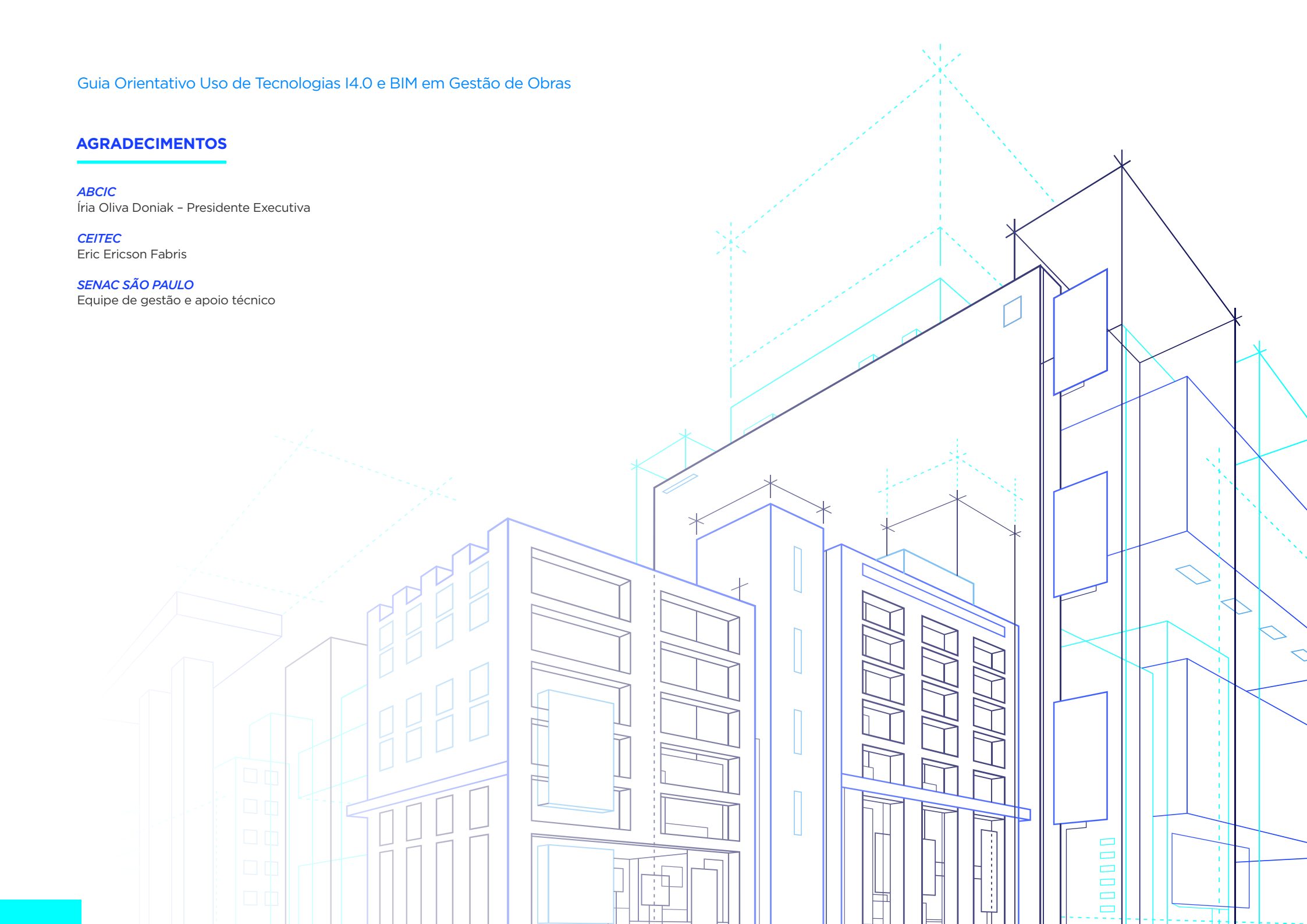
Íria Oliva Doniak – Presidente Executiva

CEITEC

Eric Ericson Fabris

SENAC SÃO PAULO

Equipe de gestão e apoio técnico



Apresentação – Construa Brasil

O Projeto Construa Brasil foi idealizado pelo Governo Federal com os objetivos de melhorar o ambiente de negócio do setor da construção civil e incentivar as administrações públicas municipais a modernizar suas estruturas para **desburocratizar** seus processos. Para que este cenário se torne realidade foram estabelecidas **metas** que estão relacionadas a três pilares: **Desburocratização**, **Digitalização** e **Industrialização**.

O pilar da **Digitalização** trata da difusão do Building Information Modeling (BIM) no Brasil, com metas relacionadas aos desdobramentos da Estratégia BIM BR.

E o pilar **Industrialização** trata do incentivo à coordenação modular e à construção industrializada, buscando melhorar a produtividade do setor gerando empregos, elevando o PIB nacional e contribuindo para a retomada da economia brasileira.

Para alcançar esses objetivos, foram traçadas metas relacionadas à agenda da Construção Civil, entre as quais o incentivo à construção industrializada, a difusão do BIM e o estímulo à aplicação de novas tecnologias.

Informações complementares podem ser consultadas no link: www.gov.br/mdic/construabrasil

Conheça as metas do projeto **Construa Brasil**

Meta 1

Convergência dos Códigos de Obras e Edificações (COE)

Meta 2

Melhoria do processo de concessão de Alvará para Construção

Meta 3

Difundir o BIM e seus benefícios

Meta 4

Apoiar ações de estruturação do setor público para a adoção do BIM

Meta 5

Criar condições favoráveis para o investimento, público e privado

Meta 7

Estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM

Meta 8

Identificação e adequação de regulamento técnico para incentivo à coordenação modular

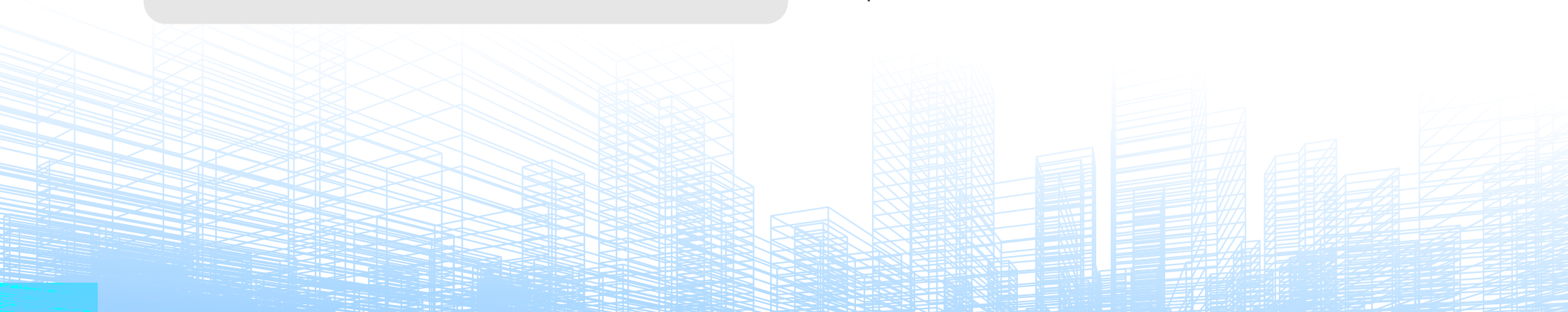
Meta 9

Incentivo à construção industrializada

Meta 7 Estimular o Desenvolvimento e Aplicação de Novas Tecnologias Relacionadas ao BIM

O BIM - Modelagem de Informação da Construção - é o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, utilização e atualização de modelos digitais de uma construção. Pode ser utilizado durante todo o ciclo de vida da obra, desde a concepção do projeto até o acompanhamento e controle pós-obra, além de ser viável na realização da gestão e manutenção de edificações e obras de infraestrutura.

A utilização do BIM aprimora muitas práticas do setor da construção e traz diversos benefícios, como a redução de erros de compatibilidade, otimização dos prazos, maior confiabilidade dos projetos, processos mais precisos de planejamento e controle, aumento de produtividade, diminuição de custos e riscos e economia dos recursos utilizados nas obras. Além disso, aumenta a confiabilidade nas estimativas de custos e no cumprimento dos prazos, reduz a incidência de erros e imprevistos, garante uma maior transparência no processo de compra e confere maior qualidade às obras.



SUBMETAS DA META 7:



Submeta 7.1

Realização de experimentos controlados em espaços reais para testar a inserção de conceitos da Indústria 4.0 em modelos BIM



Submeta 7.2

Criação de “Células BIM” em duas universidades públicas

Submeta 7.1

Experimentos Controlados em Espaços Reais de Aplicação de Novas Tecnologias Relacionadas ao BIM

O BIM é instrumento de transformação digital, aderente a outras tecnologias da informação e comunicação para o setor de edificações e infraestrutura. Nesse sentido a Submeta 7.1 possui dois produtos relacio-

nados ao desenvolvimento de experimentos controlados em espaços reais visando a efetiva demonstração da integração possível entre BIM e as tecnologias correlatas da Indústria 4.0 como a Internet das Coisas (IoT).

PRODUTOS DA SUBMETA 7.1

EXPERIMENTOS CONTROLADOS EM ESPAÇOS REAIS:

- A realização de projeto piloto para integração de BIM e IoT com Blockchain para controle e gestão de obras
- A elaboração e implementação de projeto piloto de integração BIM com sensores e soluções de internet das Coisas (IoT) para gestão de ativos.

Submeta 7.1

Experimentos Controlados em Espaços Reais

Gestão e Controle de Obras | Gestão de Ativos

A **Submeta 7.1 do Projeto Construa Brasil** visa a realização de **experimentos controlados em espaços reais** para testar a inserção de conceitos da Indústria 4.0 em modelos BIM.

Em especial, no que tange a possibilidades no tema de **integração de BIM e Internet das Coisas (IoT)** para a **gestão e controle de obras** e a **gestão de ativos**.

GESTÃO E CONTROLE DE OBRAS

Este Guia Orientativo traz uma visão sobre os experimentos realizados em canteiros de obras para acompanhamento, monitoramento e controle de atividades de instalação de componentes usando aplicações integradas de IoT, BIM e Blockchain.



Glossário

AECO Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação

API Interface de programação de aplicações (*Application Programmer's Interface*)

APP Aplicativos, programas computacionais

BMS Sistema de Gestão Predial (*Building Management System*)

CPS Sistema Físico Cibernéticos (*Cyber Physical System*)

IFC Esquema de dados abertos para modelos BIM (*Industry Foundation Classes*)

IIoT Internet das Coisas Industrial (*Industrial Internet of Things*)

IoT Internet das Coisas (*Internet of Things*)

MQTT Protocolo de envio de dados de sensores para a Internet (*Message Queuing Telemetry Transport*)

NoSQL Tipo de Banco de Dados 'não relacional' (*Non Structured Query Language*)

WiFi Padrão de comunicação para rede de computadores (internet) sem fio

Sumário

12 1. INTRODUÇÃO

1.1 A Quem se Destina este Guia Orientativo

15 2. O BIM E AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

18 3. GESTÃO DE OBRAS

22 4. SOBRE A POSSIBILIDADE DA AUTOMAÇÃO DA IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE RECURSOS NO CANTEIRO DE OBRAS

4.1 Concepção: Componentes Pré-Fabricados Inteligentes

4.2 Módulo de Internet das Coisas (IoT)

4.3 Dispositivos Empregados

4.4 Sensores Empregados

4.5 Comunicação de Dados

4.6 Serviços de Nuvem Empregados

47 5. INTEGRAÇÃO COM O BIM VIA IFC

5.1 Vínculo IoT - BIM

55 6. USO DA TECNOLOGIA DE BLOCKCHAIN NO CONTEXTO DO CONTROLE E GESTÃO DA PRODUÇÃO

60 7. EXPERIMENTOS REALIZADOS

7.1 Lições Aprendidas Desafios no surgimento de serviços I4.0 para construção

76 8. DESAFIOS NO SURGIMENTO DE SERVIÇOS I4.0 PARA CONSTRUÇÃO

8.1 Considerações sobre o framework proposto

8.2 Alternativas Dentro do framework

8.2.1 Concepção

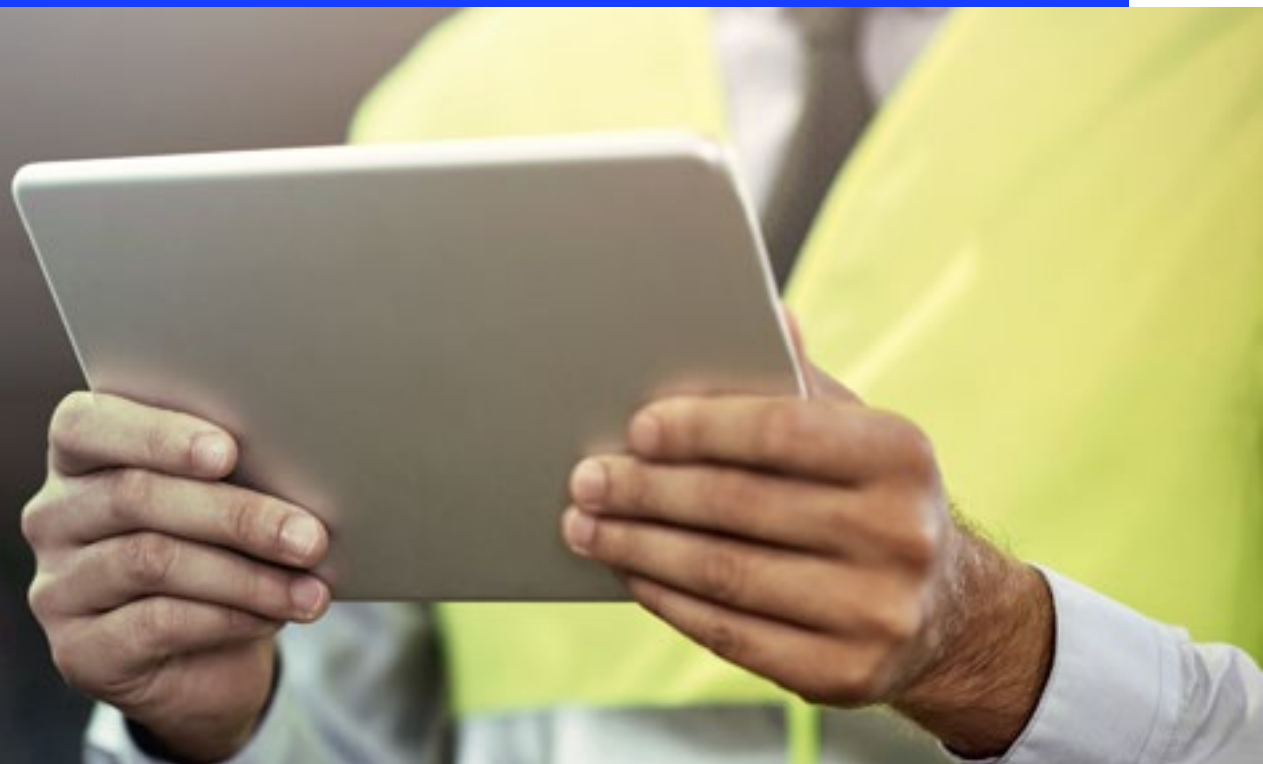
8.2.2 Implementação do Sistema

8.2.3 Testes e Aprendizado

8.3 Conclusões

1.

INTRODUÇÃO



EXPERIMENTOS CONTROLADOS EM CANTEIROS DE OBRAS

GESTÃO E CONTROLE DE OBRAS

Este documento é fruto da iniciativa do Governo Federal em “buscar colaboração externa para executar ações no sentido de promover ganhos de competitividade e produtividade no setor da Construção Civil”. As ações cobertas por este documento dizem respeito à “realização de experimentos controlados em espaços reais para testar a inserção de conceitos da Indústria 4.0 (I4.0) em modelos BIM”, em especial no que tange a possibilidades no tema de gestão e controle de obras.

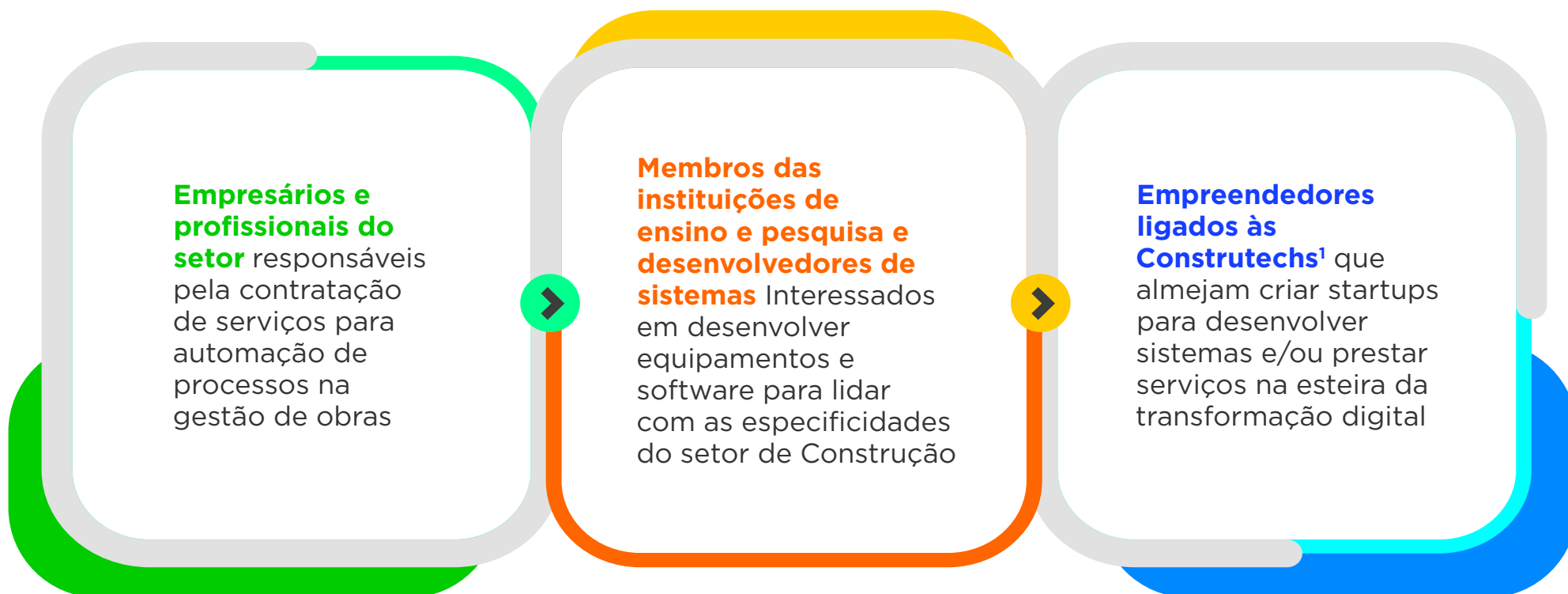
1.1

**A quem se destina
este guia orientativo**



Este guia foi desenvolvido para orientar grupos de indivíduos interessados e diretamente envolvidos em atividades de gestão de obras, bem como para fomentar o desenvolvimento de um ecossistema de inovação

dentro do setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO): construtores, pesquisadores, desenvolvedores de sistemas e prestadores de serviços de tecnologia de informação e comunicação.



¹ Startups de base tecnológica que atuam no setor da Construção Civil.

2.

O BIM E AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

Os Decretos Federais nº 9.983 e 10.306, respectivamente de 2019 e 2020, estabelecem as bases para o emprego da Modelagem da Informação da Construção para obras realizadas pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal.

A prática da **Modelagem da Informação da Construção** ou do BIM gira em torno da **produção colaborativa de informações**, em ambiente digital, que sejam pertinentes ao ciclo de vida do ambiente construído. Este ambiente digital proporciona uma visualização integrada e contextualizada destas informações no espaço tridimensional – e em outras perspectivas, como tempo e custo, favorecendo a compreensão e, conseqüentemente, facilitando a gestão e as tomadas de decisão.

Componente essencial da transformação digital no setor da Construção, o BIM (e toda tecnologia computacional associada a ele) foi pioneiro ao transpor a barreira cultural de um setor que pouco investe em inovação tecnológica. Num horizonte próximo, há um conjunto de tecnologias que podem traçar um caminho semelhante.

Hoje em dia, praticamente todos os dados e informações que fazem parte do modelo da informação da construção ou **modelo BIM** são inseridos por diferentes profissionais por meio de programas de computador de autoria BIM.

Quanto da prática do BIM poderia ser ampliada, e dos processos da construção civil automatizados, num cenário onde parte destas informações fossem produzidas automaticamente a partir de dados de sensores e programas de computador “inteligentes”?

Este é o cenário da Indústria 4.0 onde o mundo digital está conectado com o mundo físico, permitindo que as informações do modelo digital usadas nas tomadas de decisão, sejam obtidas de forma dinâmica, diretamente do ambiente físico, podendo ser precisas e atuais. Tudo isso graças ao desenvolvimento de um conjunto de novas tecnologias e de um efeito de sinergia, com a possibilidade de se agregar subconjuntos destas tecnologias em soluções integradas.

Podem ser consideradas **tecnologias associadas ao conceito de Indústria 4.0**:

Tecnologias que atuam no espaço físico

há um dispositivo, equipamento ou maquinário físico conectado ao espaço digital que, ou envia informações de seu estado atual e entorno, ou recebe comandos para mudar ou manter seu estado atual. Exemplos destas tecnologias:

- 1) Rede de sensores;
- 2) Manufatura Aditiva ou Impressão 3D;
- 3) Robótica;

Tecnologias que atuam no espaço digital

podem ser vistas como serviços ou programas de computador com propósitos específicos, recebendo, processando, transformando e enviando informações. São exemplos destas tecnologias:

- 1) Blockchain;
- 2) Gêmeo Digital (Digital Twin - DT);
- 3) Computação em Nuvem;
- 4) Inteligência Artificial / Aprendizado de Máquina;

Tecnologias que atuam nos espaços físico e digital

englobam um conjunto de dispositivos no espaço físico, enviando e recebendo informações, e serviços no espaço digital, formando um sistema completo de retroalimentação de dados e informações. São exemplos destas tecnologias:

- 1) Internet das Coisas (IoT) ou Internet das Coisas Industrial (IIoT);
- 2) Sistemas Físico Cibernéticos (CPS);
- 3) Equipamentos de Realidade Aumentada, Virtual ou Mista.

Das tecnologias destacadas, no atual contexto brasileiro do setor de AECO, entende-se que há grande interesse e espaço para desenvolvimento de produtos e serviços baseados em Internet das Coisas, integrados às demais tecnologias que atuam no espaço digital.



3.

GESTÃO DE OBRAS

O **uso de modelos BIM** para o controle e a gestão da produção ainda não é uma prática largamente adotada no mercado nacional. Para este fim, é necessário o desenvolvimento de um modelo BIM 4D. Um modelo BIM 4D contém a dimensão adicional do tempo associado aos objetos BIM dos componentes da construção. A visualização tridimensional dos componentes da construção, ao longo de uma linha do tempo associada aos serviços definidos no cronograma da obra, permite a identificação de inconsistências no sequenciamento das atividades.

Além disso, ao acrescentar as estruturas temporárias e o percurso dos equipamentos ao modelo BIM, torna-se possível realizar um planejamento mais eficiente, levando em consideração o layout do canteiro de obras e a dinâmica do processo construtivo. Tais modelos têm sido mais empregados durante a *fase de projeto*, no **planejamento pré-construção**, do que efetivamente para a **gestão da produção** durante a *fase de construção* – mas há um grande potencial aqui a ser explorado.

Com a finalidade de empregar um modelo BIM 4D para controle e gestão da produção no canteiro de obras, é preciso também considerar um **sistema de gestão** para controlar a produção e verificar continuamente a realidade com relação ao planejamento. O chamado *Location-based Management System* (LBMS) é um sistema de planejamento e controle, onde a produção é detalhada considerando as quantidades, dados de produtividade e uma estrutura de orga-

nização das atividades baseada nos locais de produção.

Com o LBMS busca-se dar ênfase ao planejamento, à programação e ao controle da obra, considerando tempo, custo e qualidade. O foco deixa de ser as atividades discretas individuais e o caminho crítico da obra, passando a ser uma gestão continuada do progresso das equipes de trabalho, conforme elas avançam de um local para outro em tarefas repetitivas, de modo a poder manter ou melhorar a eficiência da produção.

Para isso, emprega-se a definição de locais como unidade de análise para programação da obra, e as tarefas como unidades de controle, permitindo alocar e organizar a logística dos recursos, monitorar tanto o progresso da obra quanto custos e qualidade; e emitir relatórios progressivos em tempo para ações de controle quando necessárias².

Considerando este contexto, do uso do modelo BIM 4D para gestão da obra em asso-

² Russell Kenley e Olli Seppänen, *Location-based Management for Construction*, 2010.

ciação a um sistema de gestão do tipo LBMS que depende da localização dos recursos no canteiro de obras, o objetivo do experimento é demonstrar como empregar e integrar *Blockchain, IoT e Computação em Nuvem, tecnologias da Indústria 4.0, no modelo BIM, como forma de coletar automaticamente os dados sobre a instalação de componentes pré-fabricados no canteiro de obra e aplicar esse “sistema” no controle e gestão da produção*. Com dados mais completos, com mais qualidade e de maneira mais frequente, valoriza-se a **Informação** nas tomadas de decisão.

Segundo atestam diversas pesquisas³, grande parte dos problemas na construção é fruto da falta ou do recebimento atrasado de informações, nas quais podem-se incluir os dados de avanço da produção coletados no canteiro de obra.

O problema em se obter informação atualizada sobre o avanço da obra é recorrente. Práticas modernas ainda dependem de co-

leta manual, visitando as inúmeras frentes de trabalho, geralmente por meio de um celular ou tablet, ou ainda leitor de código de barras, RFID ou código QR para o registro da informação. Tal inovação acelera o processo de envio e registro dos dados coletados, mas não libera o recurso humano do processo de coleta.

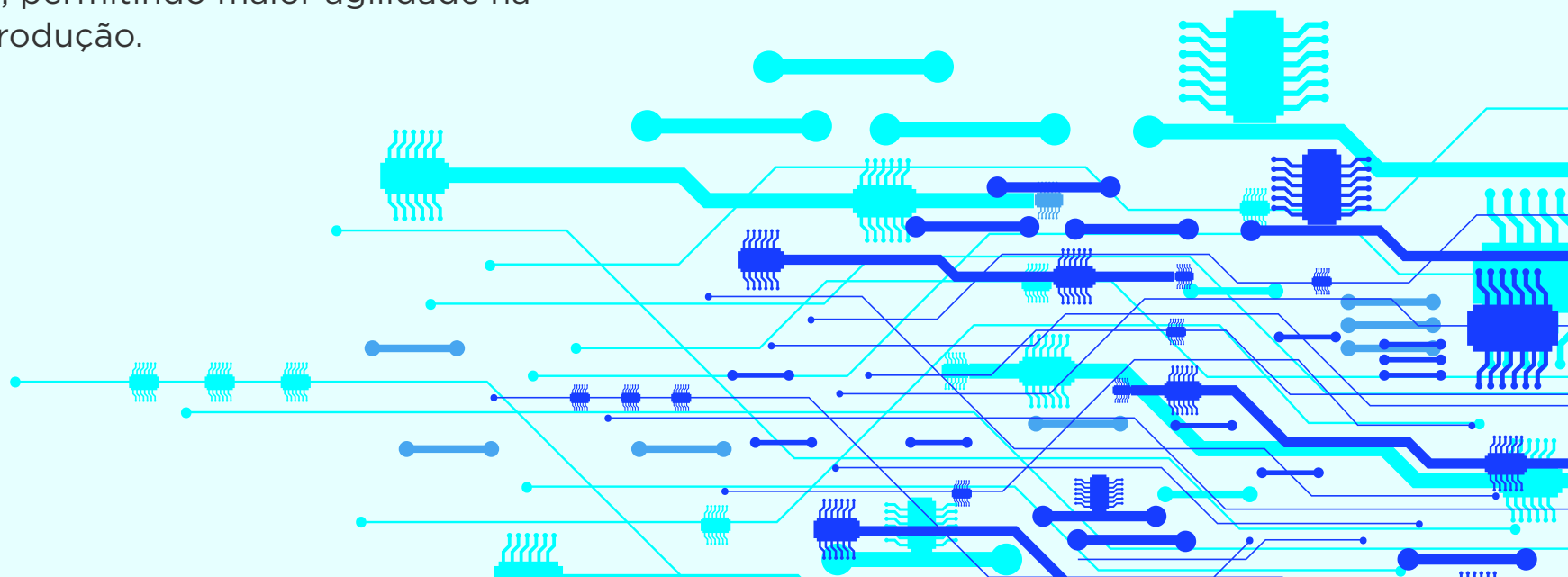
Combinando a tecnologia de IoT e Computação em Nuvem é possível receber informações e atualizações sobre o avanço dos serviços no canteiro de obras, automática e continuamente. Integrada à prática do BIM, pode-se ter um maior controle e uma melhor gestão da obra, em termos de *qualidade, quantidade e velocidade* de obtenção e consumo de *informação*.

³ Burcu Akinci et al., Modeling and Analyzing the Impact of Technology on Data Capture and Transfer Processes at Construction Sites: A Case Study, JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT, 132(11): pg. 1148-1157, 2006.

Para além da coleta automática de informações sobre o avanço das frentes de trabalho no canteiro de obras, o emprego da tecnologia de *Blockchain* para a operação de contratos inteligentes permite criar uma camada de segurança da informação – e, potencialmente, das transações comerciais –, entre a construtora e seus fornecedores de produtos e serviços, o que adiciona agilidade, rastreabilidade e transparência. Assim, o sistema integrado IoT – BIM rege as transações de chegada de componentes no canteiro de obra e posteriormente de sua instalação. Tais transações são registradas (e tornam-se imutáveis) na *blockchain* descentralizada, permitindo maior agilidade na gestão da produção.

Ao se otimizar o fluxo de informações, permite-se a conexão não apenas do canteiro de obras com o escritório da construtora, mas também de toda a cadeia de produção – o que pode diminuir os problemas crônicos de baixas produtividade e competitividade do setor da construção.

Antes da descrição dos experimentos realizados, serão brevemente abordadas as possibilidades de integração das tecnologias I4.0 com o BIM (Seção 4), a Internet das Coisas (Seção 5) e a *Blockchain* (Seção 6).



4.

A POSSIBILIDADE DE AUTOMAÇÃO DA IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE RECURSOS NO CANTEIRO DE OBRAS

A transformação digital já é uma realidade nas atividades de controle e gestão da produção no canteiro de obras, com as tecnologias de identificação por radiofrequência ou RFID, ou códigos QR. No entanto, um melhor emprego destas tecnologias passa pela necessidade de se desenvolver um projeto de sistema de identificação e de localização, e de uma eventual instrumentação do canteiro de obras, com antenas e leitores de RFID, por exemplo. Provavelmente com uma menor intervenção no canteiro de obra, os sistemas de identificação e localização de recursos no canteiro de obras, baseados em novas tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), podem ser uma solução.

4.1

Concepção: componentes pré-fabricados inteligentes

O objetivo de um sistema de identificação e localização de recursos é **automatizar a coleta de dados no canteiro de obras**, sendo referentes ao seu avanço físico. Automatizar, neste contexto, significa **empregar dispositivos** sem que haja a necessidade de uma pessoa estar presente no local de coleta.

Estes dados, indiretamente, irão compor o quadro do avanço de diferentes frentes de trabalho na obra. *A aferição automática da qualidade do serviço de instalação, apesar de possível, ficou de fora do escopo deste projeto devido à sua complexidade.*

A coleta automatizada é feita por um dispositivo ou um pequeno computador com diferentes tipos de sensores que medem distintas grandezas físicas, como a aceleração durante movimentação do dispositivo numa determinada direção. Propõe-se a criação de **um componente pré-fabricado inteligente**, por meio da fixação no componente de um dispositivo com sensores de movimentação embutidos – o que implica num custo de implantação cuja relação é 1:1 com a quantidade de serviço a ser acompanhado: um dispositivo para cada componente pré-fabricado.

Quando o componente pré-fabricado é recebido no canteiro de obras e armazenado em local pré-determinado, o dispositivo é ligado e fixado no componente, passando então a enviar dados periódicos que caracterizam seu status. Indiretamente, é possível identificar pelo padrão dos dados recebidos se o componente permanece imóvel no local de armazenamento, se encontra-se em movimento, e até se já foi instalado.

Assim, combinando-se um dispositivo, com o sensor apropriado, a um determinado serviço do qual se deseja conhecer o avanço, é possível criar uma forma automatizada de coletar dados sobre o progresso da tarefa no canteiro de obras.

Em se tratando de componentes pré-fabricados, o tipo de avanço a ser quantificado está relacionado, em última instância, à identificação do momento em que o componente retorna finalmente ao status de parado após uma série de dados que caracterizaram sua movimentação. Como os dispositivos enviam dados periodicamente, além deste mo-

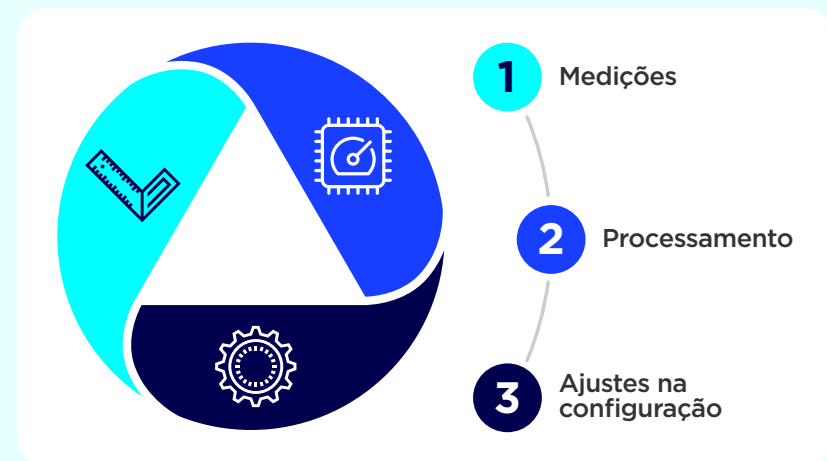
mento de instalação, é possível **identificar o período de armazenamento do componente no canteiro de obra, o local de armazenamento, as movimentações necessárias (e desnecessárias) durante o serviço, e o tempo que leva para o processo de instalação como um todo**, podendo servir de medida de produtividade do serviço em questão.

Concepção: componentes pré-fabricados inteligentes

O sistema funciona num ciclo constante de envio e processamento de dados por meio da Computação em Nuvem, conforme ilustrado na Figura 1.

A Figura 1 também ilustra a possibilidade de comunicação bidirecional, já que é o possível enviar pela nuvem comandos que alteram a configuração, e assim, o funcionamento do dispositivo – como, por exemplo, alterando a frequência de envio dos dados.

Figura 1 - Ciclo de funcionamento do módulo IoT



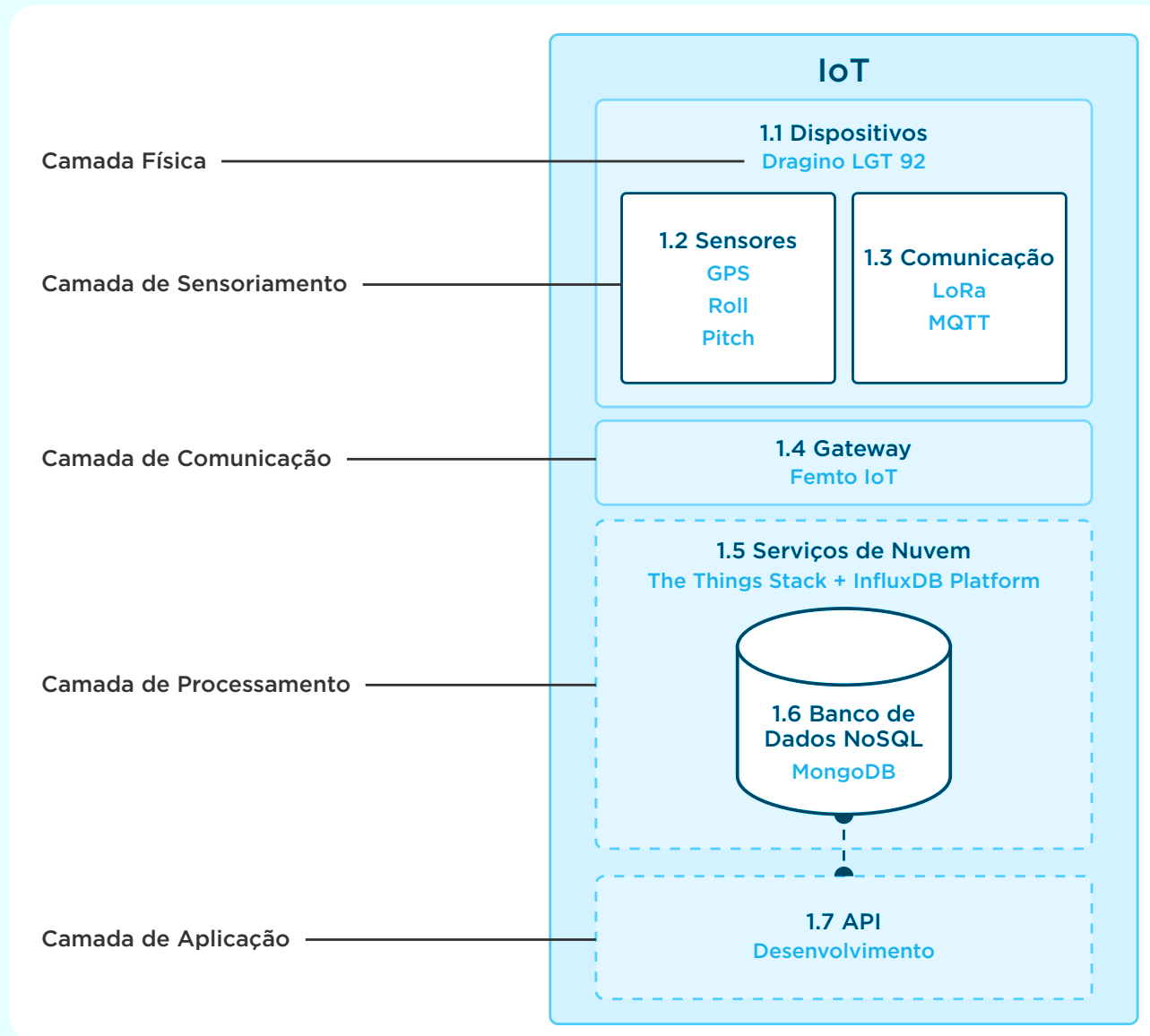
4.2

Módulo de Internet das Coisas (IoT)



Em linhas gerais, o módulo IoT pode ser dividido em **cinco camadas** (Figura 2):

Figura 2 - Diagrama do Módulo IoT



Camada Física: composta pelo componente pré-fabricado inteligente que, por sua vez, possui um dispositivo IoT fixado. Para a condução do experimento, optou-se por trabalhar apenas com as esquadrias como componentes pré-fabricados e com um dispositivo da fabricante *Dragino*;

Camada de Sensoriamento: composta pelos sensores presentes nos dispositivos usados no monitoramento que enviam mensagens para a nuvem. Os sensores presentes no dispositivo permitem a caracterização de sua movimentação, fornecendo dados de **GPS** e de uma **unidade de medição inercial** (IMU), com **ângulos de rotação** segundo duas direções diferentes;

Camada de Comunicação: composta pelas tecnologias de comunicação com os dispositivos e com a nuvem, por meio de um equipamento adicional: o gateway. O gateway recebe os dados de cada dispositivo, e então encaminha esses dados, conforme são recebidos, para serem temporariamente armazenados e visualizados na nuvem. Optou-se por trabalhar com a tecnologia **LoRa** e o

protocolo LoRaWAN para comunicação dos dispositivos com o gateway, e do gateway com a nuvem por meio de Ethernet;

Camada de Processamento: composta por um conjunto de serviços que rodam na nuvem, para: 1) receber e armazenar por um curto período os dados dos sensores; 2) disponibilizar os dados quando solicitado por outras aplicações; e 3) armazenar os dados a longo prazo. Para as duas primeiras funcionalidades, optou-se pelo servidor *LoRaWAN* da plataforma *The Things Stack*, que também fornece solução integrada que permite disponibilizar os dados via *Broker MQTT* para as duas primeiras funcionalidades. A terceira funcionalidade é coberta pela plataforma do *InfluxDB*, que fornece uma aplicação de *cliente MQTT (Telegraf)*, para comunicação com o *The Things Stack*, e armazenamento dos dados num banco de dados de séries temporais, com o *InfluxDB Cloud*, de forma gratuita, por um período de 30 dias; e,

Camada da Aplicação: composta pelas interfaces entre o usuário e o sistema desenvolvido, que permite acompanhamento da obra.

4.3

Dispositivos Empregados

De maneira simplificada, pode-se considerar que **dispositivos são computadores em miniatura com recursos limitados**, mas suficientes para realizar diferentes aplicações. A possibilidade de termos computadores em miniatura “dentro” de objetos quaisquer é o grande potencial da tecnologia da Internet das Coisas.

Conceber o sistema levando em consideração a limitação de recursos é essencial. Ao selecionar o dispositivo mais adequado para a aplicação de gestão da obra, as seguintes características foram (e devem) ser levadas em conta:

Sensores: são os elementos que estão “conectados” aos dispositivos internamente, pelo projeto do dispositivo, ou externamente, por uma conexão cabeada, por exemplo. Se o dispositivo não possui, ou não permite, a conexão dos sensores necessários para a aplicação, ele deve ser descartado;

Comunicação: é a forma (e a tecnologia) pela qual o dispositivo pode enviar os dados coletados pelos seus sensores para outros dispositivos ou computadores conectados à Internet, em última instância. Em alguns casos, e principalmente num canteiro de obras, é necessário criar uma rede de comunicação privada, onde os vários dispositivos se co-

municam com um outro aparelho, o gateway, que concentra todos os dados e os envia pela Internet. Também é *imprescindível que a comunicação dos dispositivos seja sem fio*. Visto que não é comum ter acesso WiFi em toda a extensão do canteiro de obras e que muitas vezes não há sinal nem para celular em alguns locais, como no subsolo. Recomenda-se que a comunicação seja feita com uma tecnologia como a LoRa (*Long Range*) e o protocolo LoRaWAN (*Long Range Wireless Area Network*), demandando acesso à Internet apenas no gateway. Assim, os dispositivos podem estar a quilômetros de distância do gateway e operar em toda a extensão do canteiro de obras;

Duração da bateria: o dispositivo precisa funcionar, no mínimo, por um período compatível com a jornada de trabalho, em geral, 8 horas por dia. Os dispositivos IoT, no entanto, não ficam ligados enviando dados continuamente – eles seguem uma rotina programada de coleta de dados, envio de dados, entrada no modo hibernação e passado o período de hibernação, a rotina inicia novamente. A duração da bateria está diretamente relacionada à quantidade de dados enviada, ao consumo de cada elemento (sensores e comunicação), e à frequência em que a rotina se reinicia. Existem dispositivos cuja bateria dura mais de ano. Como no uso real do sistema espera-se que sejam usadas centenas ou até milhares de dispositivos, de-

ve-se considerar o problema de os recarregar com a periodicidade necessária;

Encapsulamento: para operar um sistema num canteiro de obras, considerado um ambiente hostil aos dispositivos, é necessário, no mínimo uma proteção contra umidade e poeira, mas também à choques mecânicos;

Custo: dada a quantidade necessária de dispositivos, na ordem de centenas, é importante que o custo seja baixo, porque ele aumenta proporcionalmente ao tamanho da obra;

Tamanho: como os dispositivos são fixados nos componentes construtivos pré-fabricados, é essencial que tenham dimensões compatíveis com estes componentes.

A partir da consideração das restrições descritas, buscou-se dispositivos que possuísem sensores de GPS e acelerômetros, com comunicação LoRa, duração de bateria de no mínimo 8 horas, que fossem um produto co-

mercial e não uma placa de desenvolvimento, e cujo custo fosse compatível com os recursos disponíveis (máximo de US\$ 50-60). Escolheu-se, então, empregar o **Dragino LoRaWAN GPS Tracker LGT-92** (Figura 3).

Figura 3 - Dispositivo LGT92 da Dragino adotado para o monitoramento de esquadrias



SISTEMA	STM32L072CZT6 – Flash: 192 KB; RAM: 20 KB; EEPROM: 6 kB
Dimensões e peso	Tamanho do dispositivo: 85 x 48 x 15 mm Peso do dispositivo: 50g
GPS	L76-L – Aquisição: 16mA; Rastreamento: 13mA; Partida Fria: <35s; 8uA@Modo Backup; Partida Quente: <30s; Acurácia: <2,5m CEP; Repartida Quente: <1s
Acelerômetro	MPU9250, 9 eixos – Giroscópio MEMS de triplo eixo; Acelerômetro MEMS de triplo eixo; Magnetômetro MEMS de triplo eixo; 3,5mA corrente de operação
Comunicação	LoRaWAN 1.0.2; Band 1 (HF): 862 ~ 1020 Mhz
Bateria	Recarregável, Li-on 1000mA
Consumo de energia	Modo Hibernação: 77uA; Rastreamento: máx. 38 mA; Transmissão LoRa: 24 ~ 150 mA

4.4

Sensores Empregados

Os sensores de um dispositivo são os elementos que permitem detectar à distância e automaticamente o que está acontecendo com o próprio dispositivo e com o entorno no qual ele está imerso. Permite também tomar ações, controlar e/ou configurar o dispositivo para responder de uma determinada maneira ou outra, a depender dos dados dos sensores.



O tipo de sensor está intimamente relacionado com a aplicação e com o tipo de medição, direta ou indireta, que pode ser realizada – por isso é que, provavelmente, não existe um único sensor que possa ser empregado para toda e qualquer aplicação⁴.

Para a aplicação de controle e gestão da obra, é esperado que, direta ou indiretamente, seja possível:

identificar: distinguir um componente ou dispositivo do outro. Funcionalidade mais trivial, onde basta a associação a um código de identificação único;

localizar no canteiro de obras: em alguns casos, esta localização pode ser global ou georreferenciada com um GPS, mas também pode ser relativa à organização espacial do canteiro de obras, como por exemplo saber que o componente está no terceiro pavimento;

identificar movimentação: poder quantificar os tempos de espera, as movimentações e o momento de instalação pelo padrão no sinal dos acelerômetros;

quantificar o avanço do serviço e da obra: normalmente o mais desafiador e mais indireto, que está relacionado com o conhecimento do serviço em questão, e da padronização do mesmo.

⁴ Essa questão será discutida ao final do guia.

Dados adicionais à Latitude, Longitude e Altitude do GPS nos permitem determinar a qualidade do sinal do GPS (HDOP), se ele poderia ser usado como valor confiável, já que está relacionado ao quão distantes estão (ou apinhados) os satélites que estão sendo detectados.

O IMU (*Inertial Measurement Unit*) nos dá as leituras de Rolagem (*Roll*) e Arfagem (*Pit-*

ch), que são ângulos de rotação em torno de eixos específicos ao longo do dispositivo. É possível regular a sensibilidade deles, já que foram incluídos no produto para permitir o ciclo de economia da bateria quando o dispositivo não está se movendo.

A quantidade de dados enviada por padrão pelo dispositivo escolhido são 18 bytes, a saber:

Tamanho (bytes)	4	4	2	1	2	2	1	2
Valor	Latitude	Longitude	Alarme e bateria	FLAG	Rolagem	Arfagem	HDOP	Altitude

4.5

Comunicação de Dados

Quando se fala em comunicação num sistema de IoT, há três tipos distintos a serem considerados:

- Comunicação do dispositivo com o gateway;
- Comunicação do gateway com a Internet;
- Comunicação entre dispositivos: que não foi considerada neste experimento.

Existem diferentes tecnologias que podem ser usadas para a comunicação entre o dispositivo e o gateway, conforme ilustra a Figura 4.

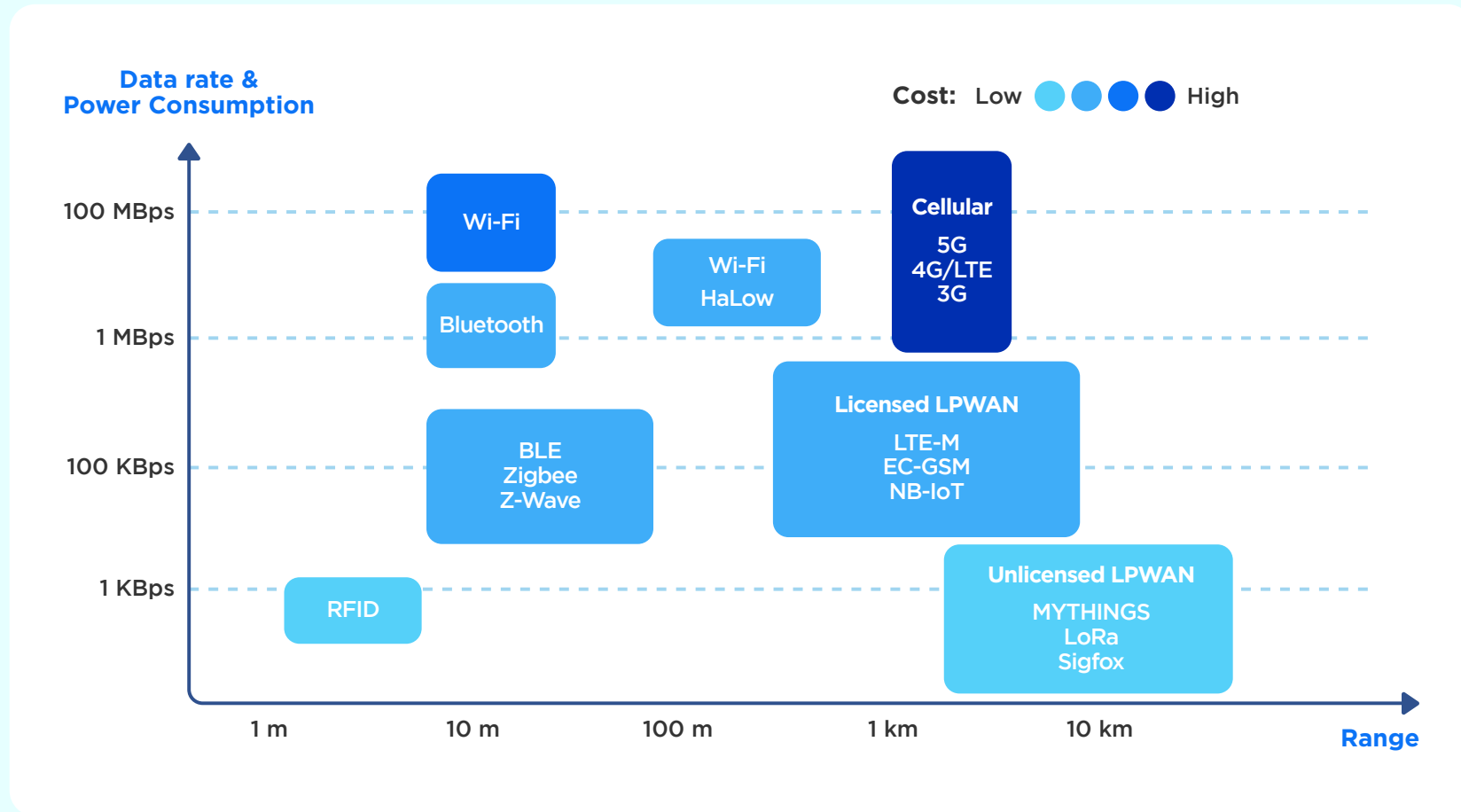
A comunicação do dispositivo com o gateway foi a decisão crítica para o projeto. Escolher a tecnologia adequada foi vital para propor um sistema que pudesse funcionar no ambiente real e desafiador do canteiro de obra.

Como a quantidade e a frequência de dados para esta aplicação não é tão grande, optou-se por trabalhar no extremo do alcance com

baixo consumo de energia para operar por mais tempo. Decidiu-se então trabalhar com uma rede *LoRa*, que permite uma maior possibilidade de desenvolvimento, e por contar com serviços de nuvem que facilitam e aceleram a prototipação de soluções e testes com a tecnologia.

A comunicação do gateway com a internet foi resolvida com o uso de internet cabeada, existente na sala de engenharia do canteiro de obras. Um recurso existente, e não considerou-se o uso, por exemplo, de conexão 3G/4G. O alcance da comunicação entre os dispositivos e o gateway, mesmo este último estando dentro de um ambiente fechado e no segundo subsolo (caso da Construtora A), foi mais do que suficiente para a comunicação durante os testes.

Figura 4 - Tecnologias de comunicação dispositivo-gateway



O protocolo de comunicação usado pelos dispositivos para enviar para a internet os dados de seus sensores foi o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) – que é uma escolha padrão, já que o protocolo foi desenvolvido para este tipo de aplicação.

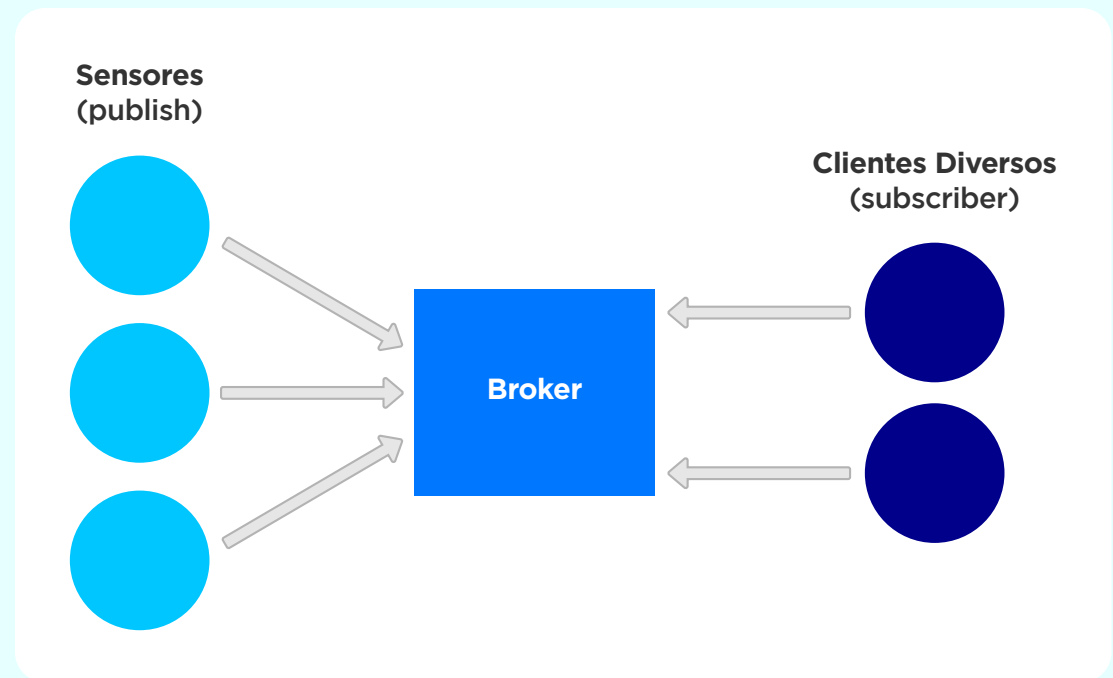
Assim, para que outros aplicativos possam recuperar as mensagens enviadas pelos dispositivos ao Servidor LoRa, uma possibilidade é usar uma conexão cliente-broker assíncrona com base no protocolo MQTT:

*“... é um protocolo de mensagens leve para sensores e pequenos dispositivos móveis otimizado para redes TCP/IP. O esquema de troca de mensagens é fundamentado no modelo Publicador-Subs-
critor, extremamente simples e leve. Os princípios arquitetônicos são minimizar o uso de banda de rede e uso de recursos dos equipamentos enquanto garantindo confiabilidade e algum nível de garantia de entrega. Estes princípios tornam esse protocolo ideal para as comunicações emergentes (M2M) “machine-to-machine” e para as aplicações “Internet of Things” (Internet das coisas)[,] um mundo de equipamentos conectados, além das aplicações mobile onde banda e potência da bateria são relevantes.” - adaptado de <https://mqtt.org/faq/>.*

Cliente-broker é uma conexão entre um cliente (aplicativo requisitando dados) e um elemento responsável por gerir as publicações e as subscrições do protocolo de comunicação escolhido, no caso o MQTT. É um esquema de mediação entre computadores capaz de fazer com que a comunicação de fato ocorra entre eles - <https://engprocess.com.br/mqtt-broker/>. Assim, o programa desenvolvido é o cliente MQTT, que assina um canal onde serão continuamente postadas mensagens com os dados enviados pelo dispositivo (Figura 5).

Vale lembrar que o sistema depende de uma infraestrutura de micro serviços: o Servidor LoRa, apenas recebe as mensagens e as armazena por um curto período. Se ninguém acessar estas mensagens neste período, elas são perdidas. A permanência das mensagens e dos dados precisam ser feitas por meio de outro micro serviço.

Figura 5 - Estrutura padrão publish-subscriber do MQTT



Fonte: <https://mqtt.org/faq/> e Wikipedia.

A arquitetura do sistema concebido, que depende de serviços existentes na Internet (Computação em Nuvem), demanda a existência de um gateway, que faz a intermediação entre os dispositivos e a Internet. O equipamento serve para encaminhar o pacote de dados (mensagem) para um servidor rodando na internet, e que já está configurado tanto com informações sobre quais dispositivos podem enviar mensagens, quanto com relação aos dados do gateway. As mensagens persistem por um tempo curto e determinado do servidor, quando deve ser consumida, processada e eventualmente armazenada para uso posterior.

Sem dúvidas, é possível ter uma solução onde todos os dados são processados por uma infraestrutura computacional presente no canteiro de obra. No entanto, solução

em nuvem, apesar do custo mensal por uso, compensa em termos de tempo de desenvolvimento, sendo a opção ideal para situações de experimentos como este projeto-piloto, onde podemos nos concentrar na parte essencial e diferenciada da solução.

Na comunicação entre os dispositivos e o gateway está um novo elemento para ser considerado no projeto: há um limite da quantidade de dispositivos que conseguem “conversar” ou enviar dados simultaneamente ao gateway. Se o gateway não estiver “escutando” quando os dados são enviados, estes dados são perdidos. O tempo que a mensagem leva, dos dispositivos ao gateway, é chamado de airtime e este é um outro parâmetro usado na concepção do funcionamento do sistema como um todo.

O **gateway** escolhido, o Browan WLRGFM-100 (Figura 6), permite a comunicação com 8 dispositivos simultaneamente em função de ter 8 canais de comunicação. Havendo um máximo de 20 dispositivos em funcionamento e considerando que os dispositivos são ati-

vados em sequência, esse procedimento aumenta as chances de que não haja mais de 8 dispositivos comunicando-se ao mesmo tempo. O gateway acrescenta mais alguns bytes à mensagem inicial do dispositivo, totalizando cerca de 54 bytes.

Figura 6 - Gateway IoT Browan WLRGFM-100 para comunicação LoRa



Faixa de frequência	902 a 928 MHz
Número de canais	Até 8 canais simultâneos
LAN sem fio	802,11 b/g/n 2,4 GHz
Protocolo WAN	LoRaWAN
Modulação	Com base em LoRaWAN
Transceptor RF	SX1301 ou SX1308 com SX1257 (SX1276 adicional para LBT e digitalização em segundo plano)
Transmitir o poder do RF	0.5 w (até 27 dBm)
Receber sensibilidade	Até-142 dBm
Temperatura de funcionamento	-10°C - 55°C
Temperatura de armazenamento	-10°C - 60°C
Alimentação	5VDC / 2ª através de porta mini-USB
Tipo de antena	Antena Wi-Fi internas, e LoRa Externa, via conector SMA
Interfaces	1 LAN 10/100Mbps, 1 USB 2,0 (para upgrade e 3G/4G dongle), 4 Led's indicadores
Dimensões	L: 116 x w: 91 x H:27 milímetros
Peso	160 g
Segurança	AES 128

4.6

Serviços de Nuvem Empregados

Uma das decisões no projeto do módulo IoT foi empregar a Computação em Nuvem. O que significa que os dados saem do canteiro de obras, trafegam pela internet, são usados por serviços sendo executados em computadores espalhados pelo mundo, para posteriormente retornar ao próprio local ou a um usuário remoto por meio de um aplicativo. Neste trajeto, passam-se milissegundos ou até alguns segundos, a depender de fatores como a velocidade da internet no local, distância do servidor ou a latência do serviço, dentre outros.



Um ponto determinante para o uso da Computação em Nuvem é o fato de que a aplicação de controle e gestão da produção não precisa de ações instantâneas – normalmente a gestão da produção toma decisões ao longo de uma semana, tentando recuperar o ritmo de avanço planejado.

Deste modo, pode-se acelerar o desenvolvimento da solução como um todo fazendo uso de serviços gerais e robustos disponíveis na nuvem, além de escalar facilmente uma ampliação do sistema, contratando uma maior quantidade dos mesmos serviços de nuvem. O grande benefício é não necessitar de computadores e toda a infraestrutura envolvida para manter esta parte do módulo IoT funcionando – delega-se a um prestador de serviço, que garante que haverá sempre uma máquina ligada recebendo e processando dados, e que os dados não serão per-

didados, porque haverá redundância no armazenamento das informações.

Assim, continuando o processo de concepção do fluxo dos dados no módulo IoT, o que há neste ponto do fluxo são os dados saindo dos dispositivos e indo para a internet. Segundo o protocolo LoRaWAN, os dispositivos são clientes que enviam pacotes de dados. Como pode ser visto, quem “gerencia” e recebe as mensagens dos clientes é o Servidor LoRa. Como é um serviço genérico e configurável, foi utilizada uma das muitas implementações existentes na nuvem.

Com os dados nas nuvens, é necessário um outro serviço para distribuir os dados ou armazená-los em definitivo. Para distribuir os dados, usa-se um Broker MQTT que se integra com o Servidor LoRa, e organiza os pacotes segundo tópicos pré-definidos que podem ser assinados por clientes MQTT que querem consumir ou armazenar os dados.

Além do Broker MQTT, o próximo ponto do fluxo é o armazenamento dos dados com a leitura do tópico MQTT para a escrita em um banco de dados – para criação de um histórico das leituras dos sensores em cada ambiente. Por ser outro serviço padrão, utilizou-se de outra solução existente na nuvem.

Escolheu-se a Plataforma de Computação em Nuvem do *The Things Stack* para a comunicação LoRa / MQTT e a Plataforma do *InfluxDB* para o armazenamento dos dados dos dispositivos; ambos de uso gratuito nas restrições desenhadas no projeto.

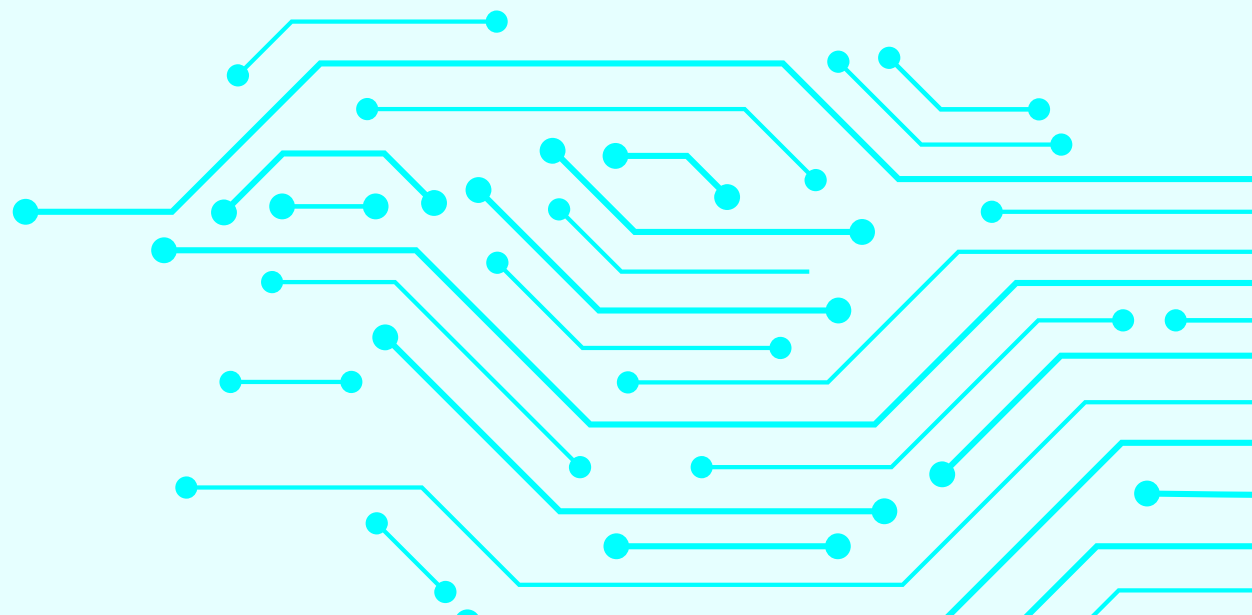
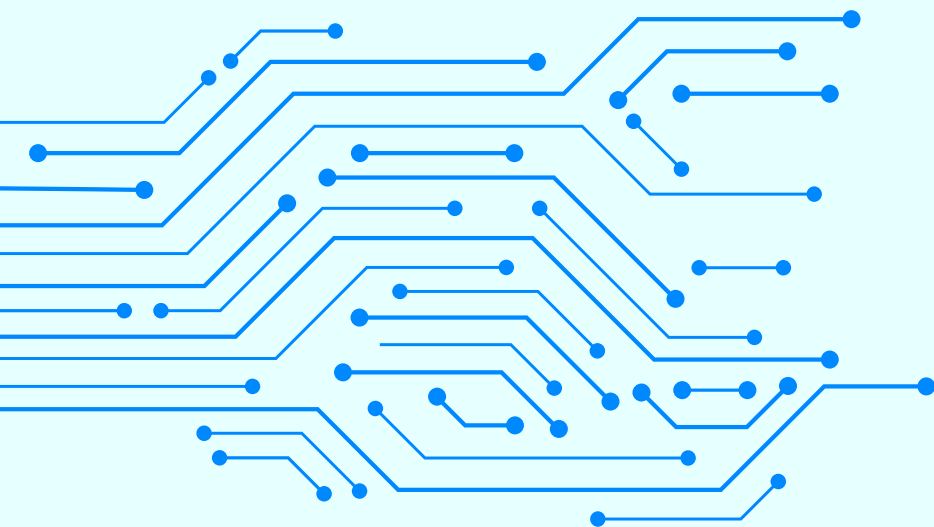
Os dados dos sensores, em última instância, são **séries temporais**: pares contendo o valor de uma grandeza física e o registro de um instante de tempo quando este valor foi mensurado. Independente disso, a forma como estes dados são armazenados para consumo sob demanda pode ser uma outra estrutura de dados.

Precisando de um desenvolvimento ágil da solução, sem gastar muito tempo projetando um esquema de dados para um banco de dados relacional – e ter, eventualmente, de alterá-lo após testes e desenvolvimentos subsequentes – optou-se por armazenar as séries temporais diretamente num banco de dados NoSQL, que facilita a organização dos dados, independentemente de serem séries regulares ou irregulares, ou baseadas em eventos discretos. Dessa forma, não é preciso decidir de antemão a estrutura do banco de dados.

Para a aplicação em questão, é preciso entender a dinâmica de funcionamento do sistema IoT até o ponto final de consumo da informação: o sistema IoT foi concebido para sinalizar quando um componente pré-fabricado foi instalado, mas fica emitindo dados continuamente, segundo uma frequência pré-programada.

Como a frequência é diferente se o dispositivo está em repouso (esquadria armazenada no canteiro de obras) ou em movimento (preparando para ser instalada), a duração do processo de movimentação e instalação também deve ser considerado. De qualquer forma, o mais crítico deve ser a quantidade de dispositivos simultâneos enviando dados do que de um dispositivo apenas mandando dados com maior frequência.

Há que se julgar os custos do serviço de nuvem em função da quantidade e frequência de envio de dados para o banco. Nos experimentos, o serviço gratuito foi suficiente para o fluxo de dados necessários de vinte dispositivos mandando dados de 2 em 2 minutos quando em movimento, e de 1 em 1 hora quando em repouso. Além disso, na opção gratuita, ainda há o armazenamento por 31 dias dos dados, o que é mais do que suficiente para que eles sejam consumidos diariamente, ou até semanalmente, para registro pela *blockchain*.



5.

INTEGRAÇÃO COM O BIM VIA IFC

A integração com o BIM se refere ao potencial uso de novos dados associados diretamente às informações já existentes nos modelos BIM. A maneira como essa integração é realizada depende da natureza destes novos dados. Em alguns casos, tais dados são acessados internamente aos programas de autoria BIM. Em outras situações, podem ser desenvolvidas novas aplicações externas aos programas BIM, que precisam estar conectadas aos bancos de dados e, em última instância, a um arquivo ou modelo BIM, para acesso aos novos dados e às informações pré-existentes da construção, referentes à parte BIM, de forma associada.

Tomando o esquema de dados abertos IFC (*Industry Foundation Classes*), promovido pela *buildingSMART*, como referência às informações contidas em modelos BIM, é possível analisar as alternativas existentes para associar os novos dados aos componentes da construção. Em tese, qualquer programa de autoria BIM pode exportar ou importar as informações contidas nos modelos BIM proprietários por meio de arquivos de extensão IFC.

O esquema de dados IFC é formado por um conjunto de unidades de informação ou entidades destinadas a representar tudo o que possa ser necessário e pertinente para uma edificação ou obra de infraestrutura ao longo do seu ciclo de vida. Inclusive estão

previstas entidades que representam sensores e os dados coletados por eles coletados: são as *IfcSensors* e *IfcRegularTimeSeries* (*IfcIrregularTimeSeries*), respectivamente. Isso significa que é possível realizar os experimentos desejados apenas armazenando as informações dentro de modelos BIM. No entanto, a grande barreira é a inexistência de programas BIM que escrevam e exibam estas informações adequadamente. Além disso, devido à natureza das aplicações que envolvem um sensoriamento contínuo de dados e a aquisição de uma série histórica de dados, logo percebe-se que, apesar de possível, os dados não devem ser armazenados exclusivamente em um modelo BIM ou acessados continuamente por outras aplicações a partir dele.

Segundo pesquisas⁵ realizadas que analisaram diversas iniciativas, observam-se **5 formas distintas** de integração entre IoT e BIM. Apresenta-se na sequência um agrupamento das cinco em **três categorias**:

- Transformando um modelo BIM numa base de dados relacionais:
 - Utilizando as API's (Application Programming Interface) das ferramentas de autoria;
 - Criando um novo esquema de dados;
- Criando uma linguagem de busca nos repositórios de informação, modelos BIM e base de dados com as séries temporais;
- Usando as tecnologias da web semântica:
 - Aplicando-as nos modelos BIM e nas bases de séries temporais;
 - Utilizando-as apenas nos modelos BIM e criando buscas com SQL a partir das tecnologias da web semântica.

Essas formas de integração permitem a transformação das informações do modelo BIM de modo a compatibilizar com o acesso aos dados do banco.

Outra possibilidade é o uso de bases de dados não relacionais ou NoSQL, apropriadas para tratar de dados semiestruturados e em mudança constante.

⁵ Tang et al. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices Integration: Present status and future trends, Automation in Construction, Volume 101, 2019, pgs 127-139.

A forma como a integração dos dados vindos dos dispositivos IoT pode ser feita com o modelo BIM ainda é assunto de pesquisa em universidades e desenvolvimento por empresas do setor de tecnologia da informação e comunicação. O essencial aqui é a funcionalidade desejada desta integração, que acontece fora dos atuais programas de autoria BIM.

Embora seja possível integrar os dados capturados no “mundo físico” diretamente no próprio modelo BIM (mundo virtual), as séries temporais obtidas pelos dispositivos IoT são usualmente mantidas em bancos de dados externos ao modelo devido ao potencial

grande volume de dados tratados. Assim, a integração BIM-IoT ocorre, de fato, entre o banco de dados que contém os dados IoT e o objeto virtual correspondente, representado no modelo BIM.

No esquema de dados abertos IFC, os atributos essenciais de qualquer unidade de informação da construção (instância de uma determinada entidade) num modelo BIM são criados ao nível da entidade raiz (**IfcRoot**). A partir dela derivam todas as demais entidades cujas instâncias precisam ser discernidas no modelo. Em geral, o vínculo entre o objeto do modelo BIM e o banco de dados com os dados IoT é orientado aos atributos de identificação do objeto definidos ao nível de IfcRoot. Particularmente ao identificador global único (**GlobalId**) e/ou ao nome do objeto (**Name**).

O atributo **GlobalId** é um identificador único gerado automaticamente pela ferramenta BIM de autoria quando o modelo é exportado ao formato IFC. Trata-se de um código de identificação obrigatório, atribuído a cada objeto instanciado no modelo, destinado a interface entre sistemas digitais (dados do tipo **IfcGloballyUniqueId** composto por 22 caracteres alfanuméricos).

Já o atributo **Name** é um código de identificação definido no contexto do projeto e composto por uma cadeia com até 255 caracteres alfanuméricos definidos pelo usuário (dados do tipo **IfcLabel**). Embora seja um atributo opcional perante o esquema IFC, considera-se essencial que ele esteja definido no modelo de integração BIM-IoT para viabilizar a interface com “humanos”, inclusive que possua a nomenclatura individualizada e padronizada.

5.1

Vínculo IoT - BIM

O vínculo entre os dados gerados pelo módulo IoT (referentes aos sensores dos dispositivos que caracterizam o status de esquadrias no canteiro de obras) e o modelo BIM 4D de componentes pré-fabricados e do serviço de instalação, é concretizado por meio de documentos armazenados num banco de dados *NoSQL*. Sempre que uma aplicação necessitar, o banco de dados é consultado para identificar esse vínculo.



Dada a característica dinâmica do processo de monitoramento, que implica na instalação sistemática de dispositivos junto ao componente pré-fabricado armazenado no canteiro de obras, é necessário criar uma aplicação para facilitar o registro destas informações que só são obtidas no momento da colocação dos dispositivos.

Muitas vezes, os fabricantes de componentes pré-fabricados incluem etiquetas e códigos QR para identificar as peças. Estes códigos podem ser usados para identificar e individualizar cada componente e vinculá-lo com

a identificação do dispositivo que será a ele fixado. De antemão são conhecidos os identificadores de todos os dispositivos à disposição que podem ser incluídos diretamente na aplicação ou num banco de dados. Os códigos das peças também podem ser obtidos em contato com os fornecedores, antecipadamente ou realmente no momento da instalação, ou preenchidos, desde que haja um campo textual livre para este registro.

O vínculo com o modelo BIM, em termos de individualizar e identificar os componentes é um pouco mais complicado já que muitos componentes pré-fabricados são idênticos ou intercambiáveis e, no momento de instalação, não é feita a distinção de qual peça irá em qual lugar – uma complicação desnecessária para a equipe de instalação no canteiro de obra.

Embora alguns fabricantes prevejam a identificação individualizada das esquadrias para cada posição na fachada, na prática, os módulos foram tratados por *tipo* na obra em questão (há outros empreendimentos que a gestão individual se faz necessária). No modelo BIM, também foi previsto um código para o *tipo* e outro para *instância*.

A criação do vínculo é feita por meio de um aplicativo web, que permite o cadastro de um código de fabricante associado à identificação pré-registrada do conjunto de dispositivos existentes.

Cada documento registra: **1)** um *timestamp* referente ao início do monitoramento, quando o dispositivo é fixado no componente pré-fabricado, ou quando é identificada a instalação do componente pré-fabricado a ele associado; **2)** um código de

identificação para cada dispositivo, que é usado no módulo IoT; **3)** um código do fabricante para cada componente pré-fabricado (inserido no atributo **Name** de cada instância no modelo BIM); **4)** a possibilidade de inclusão do parâmetro **GlobalID**, da entidade representando componentes pré-fabricados no modelo BIM no formato IFC.

Para o caso de reaproveitamento do mesmo dispositivo – que sempre é identificado da mesma forma no sistema e em particular no módulo IoT – haverá diversos documentos com o mesmo dispositivo, mas associado a diferentes códigos de identificação dos componentes pré-fabricados.

6.

USO DA TECNOLOGIA DE BLOCKCHAIN NO CONTEXTO DO CONTROLE E GESTÃO DA PRODUÇÃO

Outra das tecnologias da Indústria 4.0 de interesse para a construção civil é de *Blockchain*. Essa tecnologia pode ser entendida como um sistema que permite rastrear o envio e recebimento de informações pela internet, a partir de blocos de dados gerados online que carregam informações conectadas. Inicialmente, foi implementada para permitir medições de contratos de desempenho entre empresas, no sentido de ganhar agilidade na tomada de decisões, com rastreabilidade dos processos e trocas de informações. Assim, foi possível desenvolver um contrato inteligente que realizava o cálculo financeiro da medição, e os dados e ações dos integrantes do contrato eram registrados em *blockchain*.

O experimento realizado no âmbito do Construa Brasil consistiu na criação de um contrato Inteligente testado com o envio de uma transação contendo o código compilado de um contrato inteligente (*deploy*) sem especificar os receptores no *blockchain* Ethereum. O contrato inteligente registra as transações entre o fabricante de esquadrias e o fornecedor do serviço de instalação das mesmas.

Há uma diferença em termos de frequência com a qual os módulos das esquadrias são instalados – por exemplo, um a cada 10 minutos – e com a qual as transações acontecem no *blockchain*. A tecnologia de IoT

permite o acesso em tempo real do estado das esquadrias inteligentes, mas a gestão da obra nada ganha com essa velocidade – o ganho está na obtenção da informação automaticamente. Apesar da realidade da Construtora ser distinta da seguinte proposta, as transações na *blockchain* poderiam ser diárias (mas facilmente reconfiguradas para outra frequência), agregando a quantidade (e a identidade) das esquadrias que foram instaladas naquele dia.

A partir daí, a *blockchain* poderia ser usada para remunerar o serviço por meio de criptomoedas, ou apenas guardar o registro imutável das datas e quantidades de serviço, permitindo até a criação de um contrato de desempenho, com metas de produtividade, e assim por diante.

Oráculo

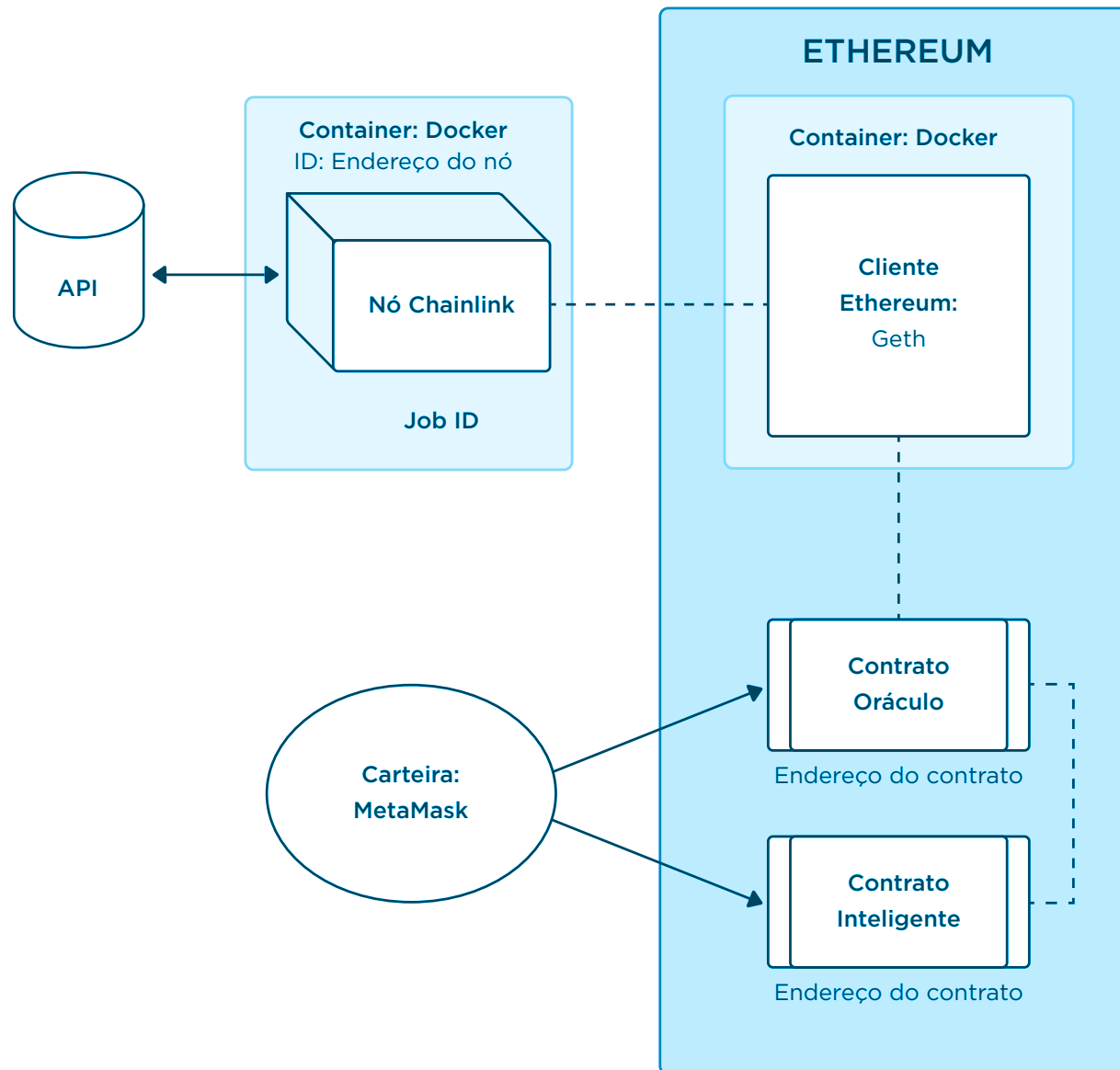
Uma dificuldade com a tecnologia de *blockchain* é a interação desta rede descentralizada e criptografada com dados do mundo real (no caso do experimento, do sistema de IoT ou do sistema IoT integrado aos modelos BIM). Para que isso seja possível, é necessário implementar adicionalmente um Oráculo, que é uma forma segura de acessar a base de dados com as séries temporais, reconhecer o padrão de comunicação das esquadrias inteligentes para determinar quando cada uma foi instalada, e registrar essa transação na *blockchain*.

No sistema proposto, foi usado, além da *blockchain* Ethereum, a operação local de um nó do Chainlink. Para isso, foi necessário desenvolver uma API para adquirir os dados integrados no MongoDB e os padrões dos

sensores no banco do InfluxDB Cloud, além de processar e enviar o resultado da quantidade (ou %) de serviço realizado no período de um dia, de tal modo que o contrato inteligente pudesse registrar as informações.

Os disparos das transações, ou da execução do contrato inteligente que verifica quais esquadrias foram instaladas, pode ser feito manualmente, ou por meio de um serviço alternativo: *Chainlink Keepers*. Com este tipo de serviço, que é pago, é possível programar a verificação da execução do contrato inteligente.

Figura 7 - Esquema de funcionamento da blockchain



Contrato inteligente

Um **contrato inteligente** é um programa de computador cuja execução é determinística: não importando em que hardware seja executado, o resultado tem sempre de ser o mesmo.

Apesar de hoje em dia os contratos inteligentes estarem associados à *blockchains*, eles foram idealizados em momento anterior, mas realmente ganharam maior visibilidade do contexto de descentralização das *blockchains*.

A ideia do contrato inteligente é a de automatizar certos procedimentos, inclusive de pagamento por serviços prestados, e que podem ser aferidos segundo alguma métrica. No caso do presente experimento, o módulo IoT é que provê esta métrica, indicando automaticamente quando um servi-

ço é realizado. Assim, periodicamente o contrato inteligente é executado e, dependendo dos dados que recebe do Oráculo, uma nova transação é registrada na *blockchain*.

Como o pagamento pelos serviços de instalação são por percentual do trabalho completado, havendo uma certa quantidade de esquadrias a serem instaladas por semana, basta que a API faça essa aritmética com base nos dados armazenados e retorne o valor a ser registrado ou o equivalente a ser remunerado. Construtora e fabricante do componente pré-fabricado precisam acordar antecipadamente as condições deste contrato, programar e testar a execução do contrato para agilizar os desembolsos financeiros.

O contrato inteligente foi implementado numa rede privada.

7.

EXPERIMENTOS REALIZADOS

Considerando as circunstâncias atuais, o setor da construção civil provavelmente não está preparado para assimilar de imediato o potencial transformador das tecnologias associadas à Indústria 4.0. Assim como aconteceu com a chegada do BIM, é necessário trabalhar com capacitação e com a mudança nos atuais processos do setor para que essas tecnologias possam agregar valor e, efetivamente, possam contribuir para o aumento de competitividade e produtividade na Construção.

Apesar desta ressalva, em termos de maturidade tecnológica e de domínio dos conceitos fundamentais, os experimentos controlados realizados em ambientes reais demonstram que é possível ter sistemas de uma **Construção 4.0** funcionando nos canteiros de obra.

O experimento realizado, considerando o serviço de instalação de esquadrias, será descrito em **três etapas**: **1)** Instalação do Sistema; **2)** Inicialização do Sistema; e **3)** Operação do Sistema.

Etapa 1

Instalação do sistema

Do trabalho realizado no canteiro de obra, para instalação do sistema, seguem os seguintes passos:

1. Instalação do gateway: necessita de energia elétrica e de acesso à internet por cabo. Uma vez ligado o *gateway*, espera-se pelas quatro luzes do dispositivo acenderem e permanecerem acessas para garantir que existe comunicação com a internet (por meio do cabo de rede) e comunicação deste *gateway* com os dispositivos via LoRa.

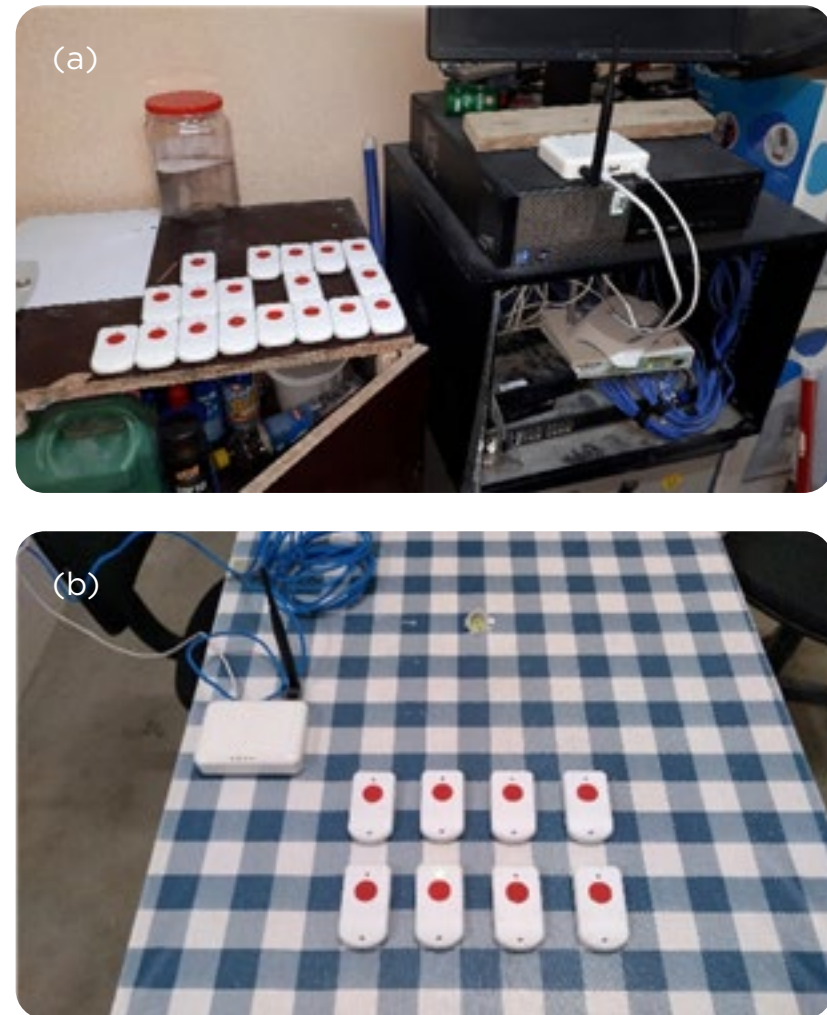


Figura 8 - Gateway e dispositivos no canteiro de obras das Construtoras A (a) e B (b)

Etapa 2

Inicialização do sistema

1. Autenticação no servidor LoRa: Os dispositivos são ligados um a um, e por meio do comportamento do único LED do dispositivo (que muda a cor e a frequência em que pisca), espera-se pela conclusão do processo de autenticação no servidor LoRa do TTN (*The Things Network*), intermediado pelo *gateway*;

2. Registro e fixação dos dispositivos nas esquadrias: nesse momento, as esquadrias estão armazenadas no pavimento em que serão instaladas. Usa-se a etiqueta do fabricante com a identificação da esquadria para registrá-la no sistema, associando-a a um dispositivo específico, e a um conjunto de *guids* dos modelos BIM de esquadrias daquele pavimento. A fixação do dispositivo nas esquadrias foi feita com fita adesiva dupla face que suporta mais de um 1 Kg.



Figura 9 - Registro para associar a identificação do dispositivo com a da esquadria no modelo BIM.



Figura 10 – Detalhes da fita adesiva para fixação dos dispositivos na esquadria.

3. Inicialização do cliente MQTT: para completar a inicialização do sistema é necessário que um programa de computador, o *Telegraf*, esteja rodando como um cliente MQTT configurado para receber mensagens de tópicos específicos, para coletar os dados da nuvem do TTN e para o subsequente armazenamento (temporário) na base de dados de séries temporais do *InfluxDB Cloud*. O serviço foi executado em um laptop que não precisou estar no canteiro de obra, e que pôde executar continuamente este processo.

Etapa 3 Operação

No experimento na construtora A, o processo monitorado pelo sistema IoT é o representado pela Figura 11 (em notação BPMN – *Business Process Modeling Notation*), e é ilustrado pela sequência de imagens de cada uma das etapas do processo: **1)** as esquadrias ficam empilhadas e armazenadas na horizontal, até o momento da instalação; **2)** em dado momento, a esquadria no topo do pallet é retirada e transportada na horizontal até o local de instalação; **3)** a esquadria é então coloca-

da na posição vertical, para uso do *GlassLift*; **4)** a esquadria, então suspensa com o *GlassLift*, é posicionada no vão da fachada; **5)** a esquadria é então posicionada na guia superior; **6)** a esquadria é fixada na guia inferior, podendo agora deslizar lateralmente para a sua posição final. Durante todo este processo, o sistema IoT recebe dados continuamente para caracterizar cada uma destas etapas, e por fim, quantificar ao longo do dia quantas esquadrias foram instaladas.

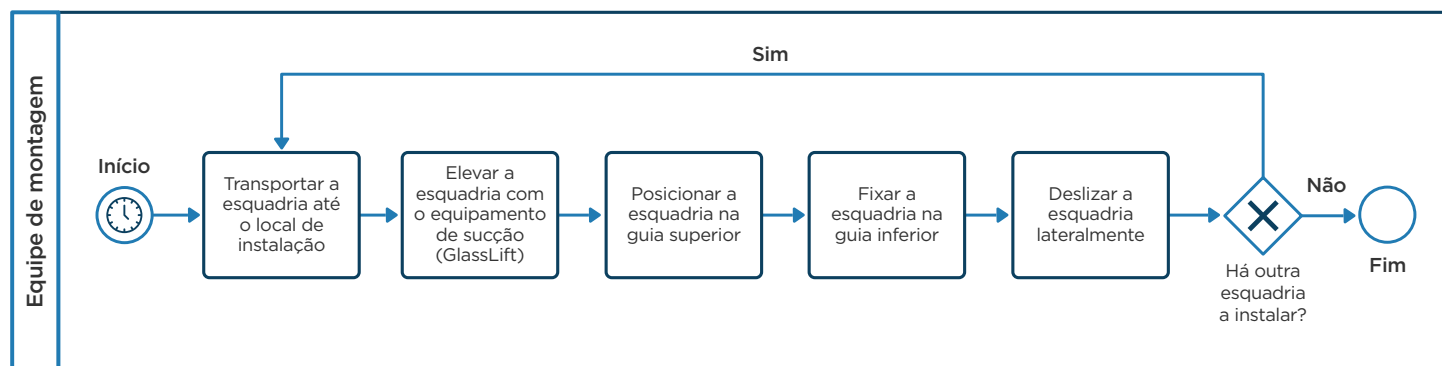
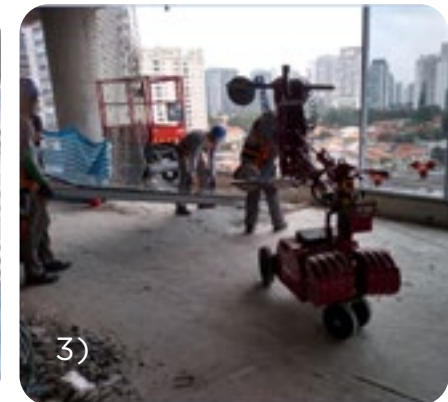
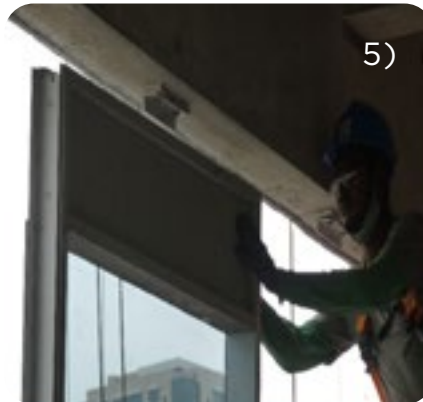
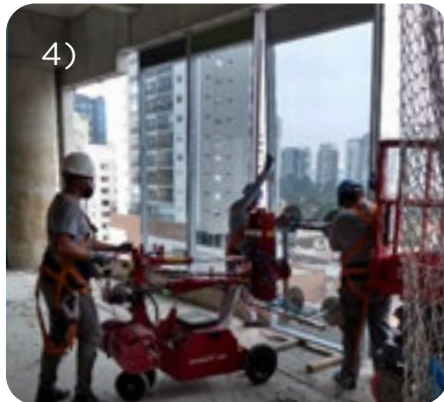


Figura 11 – Processo de instalação das esquadrias no canteiro de obras da Construtora A

Sequência de imagens das etapas do processo monitorado de instalação de esquadrias:

- 1) as esquadrias ficam empilhadas e armazenadas na horizontal, até o momento da instalação;
- 2) em dado momento, a esquadria no topo do pallet é retirada e transportada na horizontal até o local de instalação;
- 3) a esquadria é então colocada na posição vertical, para uso do *GlassLift*;





4) a esquadria, então suspensa com o Glass-Lift, é posicionada no vão da fachada;

5) a esquadria é então posicionada na guia superior;

6) a esquadria é fixada na guia inferior, podendo agora deslizar lateralmente para a sua posição final. Durante todo este processo, o sistema IoT recebe dados continuamente para caracterizar cada uma destas etapas, e por fim, quantificar ao longo do dia quantas esquadrias foram instaladas.

O sistema em operação funciona do seguinte modo:

Acompanhamento em tempo real do sistema em funcionamento: os dados podem

ser acompanhados em tempo real em um dashboard do próprio *InfluxDB Cloud*. Para isso, o acesso ao serviço na nuvem do banco de dados pode ser realizado via computador ou celular com um navegador de internet.



Figura 12 – Tela de aplicativo na nuvem para acompanhar os dados emitidos pelos dispositivos em tempo real

O **padrão dos dados** está diretamente relacionado com a configuração dos dispositivos. A devida configuração dos dispositivos, e por conseguinte do sistema de monitoramento, terá grande influência a depender da velocidade de transporte e instalação dos componentes pré-fabricados.

No caso das esquadrias, que costumam ficar durante semanas ou até meses armazenadas nos pavimentos onde serão instaladas, para este experimento, receberam a colocação dos dispositivos no próprio dia de instalação (ou na véspera em testes subsequentes). A velocidade de instalação, a partir do momento em que a equipe de instalação começa a transportar manualmente a esquadria é bastante rápida, em média 5 minutos.

Considerando isso, foram realizados testes também com o intervalo de comunicação dos dispositivos:

- No caso específico do dispositivo utilizado, os parâmetros de tempo para aquisição do sinal do GPS (AT+FTIME), ciclo de comunicação quando em movimento (AT+TDP), e ciclo de comunicação quando estacionário (AT+ACE) podem ser facilmente configurados;
- Ao usar o serviço gratuito da plataforma *The Things Stack*, há uma restrição de 30 segundos por dispositivo por dia de comunicação. Cada mensagem, nas configurações da aplicação, levava cerca de 450 ms de comunicação, ou seja, cerca de 60 mensagens por dia. Por isso, o ciclo de comunicação quando em movimento foi escolhido em 5 minutos, para um período de 8 horas de trabalho;
- Também foram realizados testes com ciclo de 2 minutos, já que esse ciclo de tempo mais curto entre as mensagens só acontece durante a movimentação para instalação das esquadrias. Quando parado, o intervalo é de 1 hora em 1 hora.

No sentido de entender o funcionamento do sistema e até de depurar eventuais problemas, têm-se **três interfaces de diagnóstico e visualização**:

- A primeira interface para visualizar a comunicação dos dispositivos é no próprio gateway;
- A segunda interface é diretamente na aplicação web do servidor LoRa, o TTN: *console application*, a partir da qual é possível verificar o status do gateway, se está conectado ou não, e também verificar o *log* da comunicação e os pacotes de quais dispositivos estão sendo direcionados pelo gateway em questão;
- A terceira e última interface usada nos testes do sistema é a aplicação web do banco de dados, o *InfluxDB*, para garantir que os dados estão sendo retirados do TTN e armazenados temporariamente no *InfluxDB Cloud*.

O módulo IoT implementado envia dados que caracterizam indiretamente o estado atual das esquadrias (armazenadas – transporte – instalação – instaladas).

Os acelerômetros dentro do dispositivo enviam dados em duas variáveis: Rolagem e Arfagem, que indicam rotação em duas direções diferentes.

Para além dessas duas variáveis, a frequência de envio / recebimento dos dados também indica indiretamente o estado atual das esquadrias. Os dispositivos foram configurados para economizar bateria quando não estão em movimento – nesse sentido os acelerômetros foram colocados no dispositivo. Há uma frequência de cerca de 2 minutos entre os envios de dados, quando o dispositivo / esquadria está em movimento. Após um período de 5 minutos sem detectar movimentação, o dispositivo altera a frequência de comunicação para um envio a cada 1 hora.

Se durante o período de economia, houvesse movimentação, haveria uma interrupção neste estado e o dispositivo voltaria a operar na frequência de um envio a cada 2 minutos. A configuração da aplicação fazia com que os dispositivos nas esquadrias se comunicassem no intervalo de 5 minutos, se em movimento. Mesmo tendo 20 dispositivos comunicando-se ao mesmo tempo, a quantidade de dados em cada mensagem era da ordem de 10^{-6} , de-

zenas de bytes – ou centenas de bytes quando considerada a aplicação como um todo.

Dessa forma, observando o processo de transporte e instalação das esquadrias e os sinais obtidos pelo módulo de IoT durante o monitoramento em caráter de teste, elaborou-se uma correlação (Tabela 1) que foi empregada nas interfaces de comunicação do sistema com os usuários.

Estado das Esquadrias	Frequência de comunicação	Variável: Rolagem
Repouso/Armazenada	1h	~ -90
Em Transporte	2min	~ -90
Em Instalação	2min	~ 0
Instalada	1h	~ 0

Tabela 1 – Sistematização da detecção

Experimento na Construtora B

Assinatura de dados

No experimento com a construtora B, foram colocados 4 dispositivos num tipo de caixilho armazenado no pavimento de instalação e outros 4 dispositivos em esquadrias armazenadas no subsolo da obra. As esquadrias foram levadas, posteriormente, pela cremalheira para o pavimento de instalação.

O comportamento ou assinatura (Figura 13) presente nos dados permite que se faça a distinção e detecção das etapas de movimentação e espera durante o transporte e instalação das esquadrias. No caso representado, apenas a variável do acelerômetro em uma direção particular, *Roll*, foi considerada.

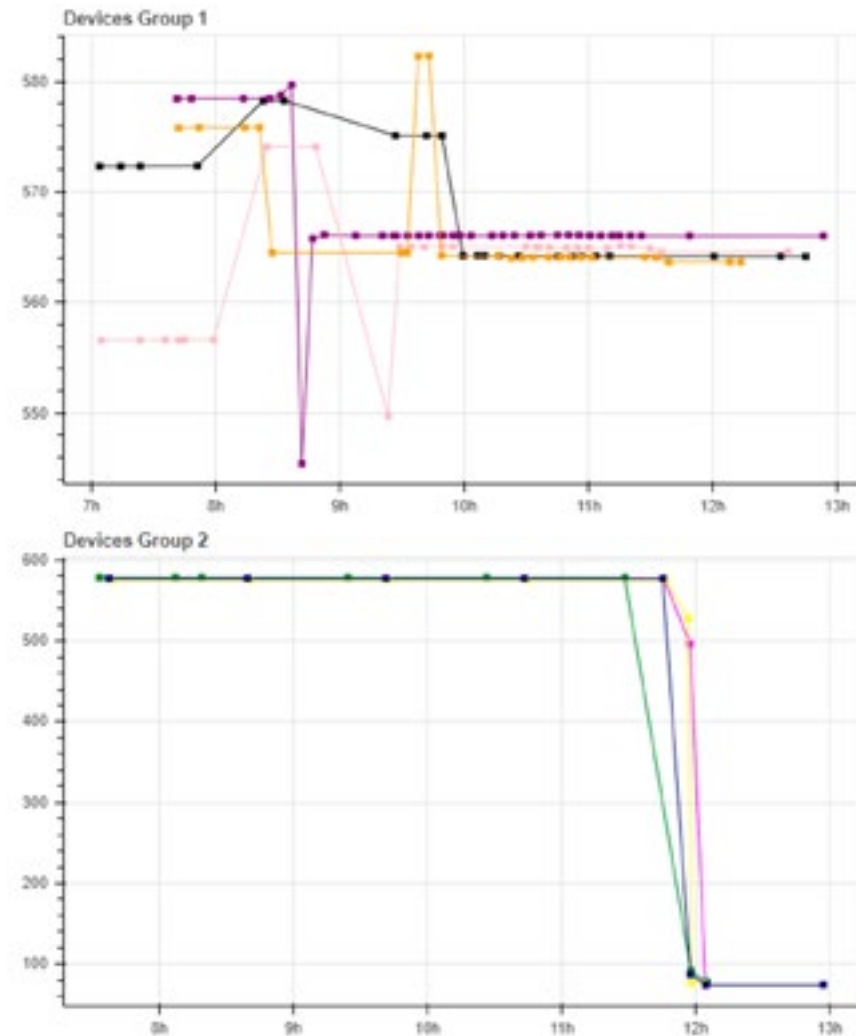


Figura 13 – Assinatura nos dados para a detecção de instalação dos componentes.

O *dashboard* exibe dados e informações que são úteis para os gestores do sistema de monitoramento, e não diretamente para o engenheiro de produção responsável pela obra. Estes dados e informações vêm dos diferentes sensores, do dispositivo e do sistema de comunicação e são melhor visualizados por meio de gráficos exibindo como as variáveis se alteram ao longo do tempo – variáveis tais como as acelerações em diferentes direções que caracterizam o movimento da esquadria: valores menores que um certo parâmetro representam o componente “deitado” quando armazenado, e acima representam ele “em pé” quando instalado.

Para isso, optou-se por usar a funcionalidade e a interface de personalização integrada existentes no próprio “sistema” do banco de dados de séries temporais **InfluxDB Cloud**. O *dashboard* criado é acessível pela internet de qualquer local pelo navegador de inter-

net. A Figura 14 e a Figura 15 ilustram como o dashboard é visto nas telas do computador e do celular, respectivamente.

Para se apreciar o verdadeiro potencial deste sistema integrado, as seguintes **condições e alternativas** são apresentadas:

A totalidade dos serviços e da produção no canteiro de obra é monitorada

Por um lado, **quanto mais industrializada é a construção**, com amplo uso de componentes pré-fabricados que chegam prontos para serem transportados e instalados, **maior é o potencial de tomada de decisão para proteger custo, prazo e qualidade, e mais fácil é expandir a solução apresentada**, aumentando a escala da quantidade de dispositivos, e o poder computacional para receber, armazenar e processar uma maior quantidade de dados.

Por outro lado, **novas formas de monitoramento**, como por exemplo o uso de câmeras, permitiriam a incorporação de serviços mais tradicionais no sistema de gestão, produzindo dados automaticamente. No entanto, como visto anteriormente, não há uma forma única e absoluta de capturar automaticamente a dinâmica de todo o canteiro de obra, e o importante é agregar informação acerca dos serviços mais críticos.

Com o sistema operando simultaneamente no canteiro de obra, com os dispositivos fixados aos componentes pré-fabricados, e remotamente, com dados enviados e processados na Nuvem, a operação consiste na gestão da informação gerada num ritmo hora-a-hora, por exemplo, com as reuniões de produção semanais ou diárias para replanejar frente ao andamento observado.



Figura 14 - Real-time dashboard representando quatro variáveis: de esquerda para a direita, de cima para baixo: RSSI, Battery Level, Roll e Pitch

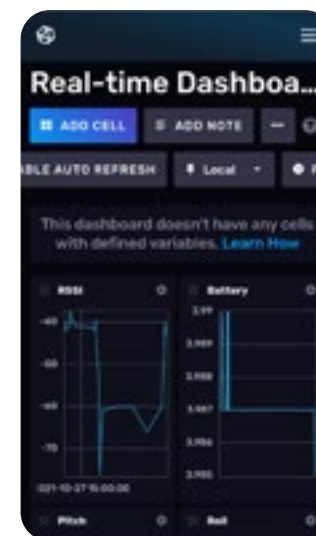


Figura 15 - O dashboard acessado de um dispositivo móvel, um celular.

7.1

Lições aprendidas

O objetivo do experimento foi demonstrar como empregar e integrar Blockchain, IoT e Computação em Nuvem, tecnologias da Indústria 4.0, no modelo BIM, como forma de coletar automaticamente os dados sobre a instalação de componentes pré-fabricados no canteiro de obra e aplicar o sistema no controle e gestão da produção.

Apresenta-se em seguida alguns aprendizados sobre o experimento realizado:



- **Operação do sistema em caráter de protótipo:** foram realizadas **coletas de dados dos serviços reais**, para que a **correlação entre dados e estágios do serviço pudesse ser identificada**. Posteriormente, montou-se uma visualização em tempo real para acompanhar o avanço à distância;
- **A precisão da localização baseada no GPS:** ambientes internos, só com as fachadas abertas, impedem a recepção do sinal de qualidade dos satélites do sistema, resultando em erros muito acima do esperado, e, portanto, inviabilizando a utilização desta informação;
- **Análise de dados:** analisando os dados dos sensores foi possível identificar uma **“assinatura”** indicando em que etapa o serviço estava;
- **Vibração estrutural:** não foi observado **influência da vibração da estrutura do edifício** na caracterização de movimento pela unidade de medição inercial (IMU) dos dispositivos;
- **Uso de Inteligência Artificial:** embora possam ser aplicados algoritmos de Inteligência Artificial no processamento dos dados e na correlação com as etapas dos serviços, entende-se que muitas aplicações poderão prescindir deste refinamento com um planejamento adequado do posicionamento do dispositivo / sensor no componente pré-fabricado, bem como na observação experimental do comportamento do dispositivo durante os primeiros testes com o sistema.

Dessa forma, o sistema desenvolvido e testado em duas construtoras participantes do experimento demonstrou a viabilidade da insta-

lação do protótipo nos canteiros de obras e seu acompanhamento remotamente.



8.

DESAFIOS NO SURGIMENTO DE SERVIÇOS I4.0 PARA CONSTRUÇÃO

Independentemente do setor considerado, o uso de software para auxílio à gestão é uma tendência em crescimento.

Os canteiros de obras têm um grande potencial para a implantação de sistemas de monitoramento das atividades produtivas. *Nota-se que há a necessidade de surgirem no mercado integradores* que façam a intermediação entre **construtoras e startups** que desenvolvam produtos e ofereçam serviços tecnológicos inovadores com a seleção de tecnologias disponíveis e pertinentes e a sua combinação em aplicações personalizadas, como ilustrado pelo sistema de monitoramento via IoT desenvolvido no experimento descrito neste guia.

Atualmente, há empresas internacionais atuando nesse nicho e que agregam em seu portfólio soluções para documentação com câmeras 360° e registro automático das imagens com as pranchas de documentação, monitoramento de equipe em obra com IoT, segurança e coleta de dados do canteiro de obra em tempo real e gestão da produção com câmeras *time-lapse*.

A solução proposta e testada em campo demonstra que há ainda um grande desenvolvimento necessário em termos de tecnologia para que se tenha todos os serviços de uma obra, dos mais industrializados (foco dos experimentos) aos mais artesanais, monitorados automaticamente, e do uso efetivo destes dados para melhorar o controle e a gestão da obra.

Limitou-se às fases do serviço de instalação de esquadrias e do processo, em particular, de armazenamento encontrado nas construtoras parceiras. Além disso, a solução foi composta de diversos elementos, tanto da parte física (dispositivos, sensores, *gateways*) quanto dos serviços em nuvem e computacional para processamento e armazenamento dos dados – havendo diversas alternativas para substituir cada um deles.

8.1

Considerações sobre o *framework* proposto

O sistema desenvolvido e implementado atendeu ao experimento controlado que teve como foco o monitoramento do **serviço de movimentação e instalação de esquadrias**.

Além do que foi relatado e demonstrado, o *framework* proposto neste guia para a **criação de um “componente inteligente” da construção** – fonte de informações sobre o avanço da obra no que diz respeito à atividade de produção, poderia ser aplicado diretamente nas seguintes situações:



1. Os **dispositivos IoT** empregados são adequados para serem fixados em **componentes pré-fabricados**, ou seja, componentes que chegam prontos no canteiro de obras. Depois de armazenados temporariamente são movimentados e instalados definitivamente. Medições como a de produtividade são mais facilmente definidas ou visíveis para estes casos. *Dispositivos que já possam ser fixados ao fim da fabricação dos componentes seriam interessantes. Caso tenham a tecnologia complementar de comunicação para os dados de GPS ao longo do trajeto fábrica – canteiro de obras, maior controle e melhor gestão podem ser praticados. Num futuro próximo, os dispositivos, em sua tendência de miniaturização e aumento da duração da bateria, devem ser transformados em etiquetas ativas como as de RFID, para se adequarem melhor às necessidades desta aplicação;*

2. Na **implementação proposta**, há uma **relação de 1 x 1** entre a **quantidade de dispositivos** necessários para monitorar o serviço, e a **quantidade de componentes** existentes no empreendimento. A operação continuada do sistema demanda atualmente a retirada e nova colocação dos dispositivos previamente utilizados, bem como de novos registros no sistema, para que um mesmo dispositivo possa estar associado a diferentes componentes ao longo do tempo. Nesse sentido, a barreira é o custo considerado elevado do dispositivo que gira em torno de R\$ 400 (janeiro de 2022), quando importado diretamente da China ou comprado no mercado nacional. Para que se equalize o custo-benefício no emprego dos “componentes inteligentes” da construção, há necessidade de redução do seu custo;

3. A posição de fixação do dispositivo (sensor) no componente pré-fabricado é importante porque caracteriza o padrão a ser obtido nos dados dos sensores durante a movimentação e a instalação. Quando a posição do dispositivo (horizontal e vertical, por exemplo) é distinta na movimentação e na instalação, a **identificação do padrão** é trivial e a caracterização dos estágios de repouso, movimentação e instalação fica facilitada. Assim, o desenvolvimento da lógica do programa de processamento dos dados que registra as transações (porcentagem do ser-

viço de instalação realizado) na *Blockchain* (Contrato Inteligente) também fica mais simples. *Adicionalmente, o padrão temporal dos dados dos sensores do dispositivo IoT pode ser analisado com algoritmos de Aprendizado de Máquina. Desta forma, depende de um planejamento prévio reduzido quanto à melhor posição de fixação no componente, bem como quanto à captura padrão de “comportamento” mais complexo ou refinado (como interpretar quando o dispositivo se comunicou, porém, em função da vibração da estrutura da edificação).*

O sistema proposto e apresentado dentro deste *framework* pode ser empregado em dois contextos:

- **Pelos fabricantes de componentes pré-fabricados:** Atualmente, o próprio fabricante da esquadria tem um sistema baseado em *Código QR* para registrar (monitorar) quando a esquadria sai da fábrica, quando chega no canteiro de obra e quando é instalada – apesar de ser um registro manual que não considera o horário no qual o status passa a ser verdadeiro. Tal solução é cada vez mais comum no mercado e junto às construtoras no canteiro de obras, onde por meio de um telefone celular com câmera e um aplicativo web é possível registrar informações. O uso que o

fabricante faz destas informações proporciona maior controle dos eventuais danos às peças que são mandadas antecipadamente ao canteiro de obras. Muitas das esquadrias são estocadas na própria fábrica, onde o risco de dano é menor;

- **Pelas construtoras para a gestão da obra:** com os dados emitidos pelos dispositivos, podem ser propostas diferentes aplicações, como relatórios automáticos do avanço da obra ao final do dia, sem a necessidade de inspecionar as frentes de trabalho; interface web para acompanhamento em tempo real do status de cada esquadria; armazenamento dos dados de produtividade diária do serviço de instalação; dentre outros.

Na prática, a implantação e a operação desse tipo de sistema poderá tornar-se um serviço completo de monitoramento (*hardware+software*) fornecido por startups do tipo *Construtechs*, que operam no mercado nacional. O sistema proposto é fácil de operar e a interface com o usuário é altamente personalizável para emitir as informações no nível de detalhe que seja útil à gestão e controle da obra. No entanto, dado o caráter inovador e experimental para este fim, a transformação das práticas atuais e incorporação desta inovação dentro das construtoras, bem como de ajustes e adaptação do sistema proposto, é considerado um processo de longo prazo.

Destaca-se o emprego de Computação em Nuvem (coleta, processamento e armazenamento dos dados na nuvem) no sistema.

Apesar das práticas de desenvolvimento e implantação do mercado, e da necessidade de um desenvolvimento ágil, deve ser considerado o custo *pay-per-use* como embutido num sistema como o apresentado aqui – que é um custo de operação. A dependência de alguns serviços de terceiros que podem sofrer atualizações que afetam o funcionamento de partes do sistema, tornando-o temporariamente inoperável, torna-se fator crítico, além do que pode também gerar custo adicional de desenvolvimento e manutenção.

Em síntese, há um grande potencial para a continuidade do desenvolvimento do sistema apresentado com a utilização do mesmo framework e com os mesmos elementos. Em particular, o uso combinado dos sinais de GPS, IMU e da intensidade do sinal recebido pelo gateway permitiria a possibilidade de localizar os componentes no canteiro de obras. *Para obras de infraestrutura, lineares à céu aberto, e para envolvimento da cadeia produtiva no que diz respeito à logística, os dados do GPS poderiam ser muito melhor empregados.*

8.2

Alternativas dentro do *framework*



8.2.1

Concepção do Sistema

Como a aplicação de uma solução de Internet das Coisas (IoT), integrada à prática do BIM poderia ter sido concebida diferentemente? *Instrumentar o canteiro de obras ou colocar sensores nos componentes, e adicionalmente na equipe e nos equipamentos?*

Tornar o canteiro de obras inteligente ou conectado, por exemplo, com o uso de câmeras dedicadas e algoritmos de Inteligência Artificial, seria uma alternativa para se economizar com equipamentos e fugir da lógica de um dispositivo para cada item monitorado (que impacta linearmente nos custos e está relacionado ao tamanho da obra).

No entanto, um dos problemas em se instrumentar o canteiro de obras é que ele se transforma com o tempo. Decidir onde os equipamentos serão instalados, e garantir que o “campo de visão” dos sensores não será afetado à medida em que a obra avança é um desafio – no mínimo, é um trabalho extra de planejamento e organização, para que se possa fazer uso de um sistema automático para controle e gestão. Dispositivos que são fixados na estrutura do edifício em construção, obviamente não conseguem ser empregados para monitorar o serviço de construção da estrutura. Para o monitoramento de atividades específicas, de grande duração ou que sejam parte do caminho crítico da obra, poderiam compensar a logística de instalação temporária dos dispositivos.

Uma das primeiras decisões para a concepção de um sistema de monitoramento automático é determinar o que será monitorado:

- Componentes pré-fabricados da edificação ou infraestrutura são a escolha mais direta. Mudar o monitoramento, da esquadria para outro componente, não traz grandes alterações em termos dos dispositivos a serem empregados (a proporção entre o tamanho do dispositivo em relação ao tamanho do componente pré-fabricado não é relevante, na maior parte dos casos). Além disso, estes componentes têm representação 4D bem definida no modelo BIM;
- Equipe de trabalho: dependendo do serviço a ser monitorado, como a execução de uma parede de alvenaria, pode ser mais interessante monitorar as pessoas. Mas para além das questões éticas envolvidas nesta escolha, existe uma dificuldade muito maior de entender o “padrão” no sinal dos dispositivos, para determinar quando o serviço foi concluído. Além disso, as equipes não aparecem explicitamente no modelo BIM 4D, mas podem ser incluídas de alguma maneira no detalhamento dos processos e atividades, assim como acontece com os elementos temporários;
- Equipamentos, máquinas e ferramentas: podem ser encontradas eventuais dificuldades com relação ao tamanho para a fixação adequada dos dispositivos, bem como com a interpretação do “padrão” nos sinais. Também são elementos temporários no modelo BIM 4D.

Já com relação à concepção do módulo IoT dentro do sistema, a escolha do dispositivo mais apropriado deve levar em conta os sensores existentes, mas também considerar a possibilidade de poder desenvolver outras aplicações (software interno de código aberto), o tipo de comunicação e a duração da bateria. Para a escolha dos sensores, deve-se considerar:

- Qual grandeza física será mensurada, e como esta grandeza está indireta ou diretamente associada ao avanço de um serviço específico na obra;
- Onde será fixado o dispositivo/sensor: estará fixo no canteiro de obras? Estará embarcado numa plataforma móvel, como um drone? Ou estará fixado num componente da construção, na equipe de trabalho ou numa

máquina ou ferramenta usada no serviço a ser monitorado?

Desse modo, acompanhar o levantamento de paredes de alvenaria, onde haveria um sensor por bloco segundo a concepção da solução proposta, seria não só proibitivo pelos custos, mas também um desperdício já que são necessários vários blocos para determinar que a parede foi concluída. Serviços como os de pintura e acabamento seriam impossíveis de serem acompanhados desta maneira, porque não haveria como fixar nos materiais os dispositivos. Neste caso, os dispositivos deveriam ser fixados nas ferramentas ou fazer parte dos EPIs ou EPCs para as equipes de trabalho.

Provavelmente, usar o CCD (o elemento sensor) de uma câmera instalada numa determinada região do canteiro de obra seria o equipamento de uso mais flexível para diferentes aplicações associadas à controle e gestão da obra, apesar da complexidade em termos de processamento das imagens com fins de identificação do avanço da obra. Câmeras

produzem imagens que são dados ricos que podem ser processados para diversos fins, e se aproximam mais de um sensor polivalente como a visão humana – mas necessitam de um processamento avançado, que poderia ser semelhante às interpretações do cérebro humano, demandando por exemplo algoritmos de Inteligência Artificial.

Ainda na concepção do módulo IoT, a comunicação, a comunicação dos dispositivos com o *gateway* pode ser implementada com a tecnologia NB-IoT (*Narrow Band Internet of Things*), ainda que mantidas as restrições de projeto para não depender de acesso à internet sem fio em todo o canteiro de obras. Durante a concepção do módulo IoT para este projeto, foram encontrados dispositivos compatíveis com a tecnologia, e até planos de dados disponíveis por operadoras nacionais, apesar de ainda serem de caráter experimental. Estes planos de dados começam a ser disponibilizados pelas grandes operado-

ras de telefonia móvel, mas o custo ainda é proibitivo se comparado ao serviço de dados convencional via telefonia celular.

Já a comunicação entre o gateway e a Nuvem, poderia ser realizada de maneira mais robusta com um *gateway* do tipo externo (*outdoor*) com acesso à Nuvem via tecnologia 4G. Neste caso, haveria um custo adicional, de um plano de dados para o equipamento compatível com a quantidade de dados e a média prevista para envio mensalmente. Ainda que o consumo de dados seja pequeno se comparado à navegação na internet, há a dificuldade de encontrar um plano de dados mais adequado. Além disso, é um custo que também aumenta com o tamanho do canteiro de obras, quantidade de dispositivo em operação e a necessidade de operar com mais de um *gateway* (já que um *gateway*, em geral, consegue se comunicar simultaneamente com menos de uma dezena de dispositivos).

Por fim, os serviços de nuvem que são parte do módulo IoT, poderiam ser substituídos por infraestrutura computacional própria do provedor do sistema de monitoramento automático – mas há de se considerar o custo de manter esse tipo infraestrutura e da necessidade de ampliar ou reduzir num prazo curto tal aparato. Parte dos elementos, como por exemplo o servidor LoRa implementado pelo *The Things Stack*, pode ser facilmente instalado num computador próprio caso haja necessidade de um fluxo de dados maior que o permitido na versão gratuita do serviço ou seja, necessário por questões de privacidade e segurança dos dados.

Com relação ao componente *Blockchain* do sistema, há um amplo campo de aplicações que saem do âmbito dos contratos inteligentes: **1)** para além de se monitorar os componentes da edificação para inferir o avanço da obra, tanto em termos de pesquisas existentes, quanto de intenção de construtoras e empreiteiros, há o interesse de monitorar as equipes de trabalho diretamente – surge aí a questão

premente da privacidade dos dados e qual a finalidade deste tipo de monitoramento; **2)** a questão de segurança da informação de evolução do modelo BIM 4D, em termos de alterações no projeto quando a obra já está em andamento, e também do próprio andamento da obra e do BIM 4D planejado.

Por fim, o sistema de monitoramento deve ser facilmente operável e exigir pouca atuação por parte da equipe na obra. A bateria deve ter alta durabilidade no que tange ao tempo de uso: mais do que um dia de trabalho. Existem produtos no mercado que podem operar por mais de um ano, num modo de enviar poucos dados e com um longo período entre um envio e outro. Convém compatibilizar as restrições dos equipamentos com as necessidades da atividade.

8.2.2

Implementação do Sistema

Em termos de implementação, dado o caráter modular da solução proposta, as seguintes escolhas são possíveis:

- **Serviços de Nuvem:** existem alternativas aos serviços empregados, tanto para receber os dados quanto para armazená-los temporária e definitivamente;
- **Linguagem de programação:** outras linguagens de programação, em substituição ao Python com o qual foi desenvolvido a

maioria dos códigos, podem ser empregadas sem prejuízo. E ainda, como o sistema é modular, é possível empregar diferentes linguagens para praticamente qualquer parte do sistema. O fator crítico na escolha é o desenvolvimento a partir de códigos já existentes (não existem muitas vezes na linguagem pretendida), limitações por parte dos serviços de nuvem escolhidos e do hardware (dispositivo) empregado, e compatibilidade na interface entre os módulos.

8.2.3

Testes e Aprendizado

Os testes são necessários para qualquer solução IoT que for desenvolvida, para compatibilizar hardware e software com as atividades a serem monitoradas. É necessário considerar:

- Força do sinal e comunicação dos dispositivos com gateways;
- Duração da bateria;
- Robustez dos dispositivos.

No *framework* proposto, há a necessidade de correlacionar as características do sinal recebido do módulo IoT com o estado do serviço de movimentação e instalação do componente pré-fabricado. Em alguns casos, a exemplo das esquadrias, o uso e fixação do dispositivo em uma posição pré-determina-

da favoreceu a criação de um padrão de sinal facilmente interpretável e correlacionável com os estados possíveis da atividade. No entanto, a etapa de “aprendizado” foi particularizada pela solução escolhida. Em casos mais complexos, principalmente quando se monitoram pessoas, ou se empregam sensores que capturam imagens, será necessário adicionar um módulo de processamento de Inteligência Artificial, que muitas vezes irá buscar correlações que não são óbvias inicialmente, permitindo assim expandir a aplicação do framework a mais atividades e tipos de sensores. Esse processo demanda uma ampla coleta de dados para treinamento dos algoritmos, durante um período de operação do sistema sem aproveitamento efetivo por parte da construtora, e de resultados para o controle e gestão.

Em função dos custos considerados dos dispositivos (que ainda são elevados, apesar dos caros impostos possivelmente estarem com os dias contados, dadas as leis de incentivo para a Internet das Coisas), em alguns casos pode ser considerada a reutilização dos dispositivos para uma mesma obra (fixando-os em componentes pré-fabricados diferentes, já que a utilidade se encerra com a instalação dos componentes). Neste caso em particular, as seguintes questões precisam ser consideradas e testadas em campo:

- **Necessidade de carregar baterias:** ainda que as baterias tenham a duração de uma ou duas semanas de uso ininterruptos, como uma obra pode avançar lentamente e facilmente decorrem de um a dois anos nas operações no canteiro de obras, acompanhar a bateria de cada dispositivo e viabilizar o carregamento entre o fim do expediente de um dia de trabalho, e antes do dia seguinte, é uma tarefa adicional;
- **Necessidade de fixar os dispositivos:** seja nos componentes que chegam ao canteiro de obra, seja no próprio canteiro de obras / edificação que se transforma com o tempo;
- **Necessidade de alterar periodicamente os dispositivos / sensores:** alocar um funcionário para esta tarefa;
- **Necessidade de input manual:** toda a parte de registro de qual dispositivo está associado a qual componente ainda é uma atividade manual – o ideal seria dispor de uma tecnologia como etiquetas RFID ativas que pudessem estar presentes já no processo de fabricação dos componentes e serem usadas para rastreabilidade tanto da produção, quanto do envio e do serviço de instalação no canteiro de obras. Sem contar a dificuldade de se organizar os registros no banco de dados, que precisariam considerar a temporalidade na associação de um mesmo dispositivo com vários componentes ao longo da duração da obra.

8.3

Conclusões

Por um lado, os estímulos governamentais para implantação das práticas do BIM e a crescente adesão das empresas do setor, e por outro, a tendência de miniaturização, aumento da capacidade computacional, redução dos custos dos dispositivos de Internet das Coisas e ofertas de serviços de Computação em Nuvem (sem contar o interesse que aplicações usando *Blockchain* vem despertando nos últimos anos), apontam para a potencial ampliação de soluções que integrem as tecnologias da Indústria 4.0 e os modelos BIM, e para a futura constatação dos seus benefícios para o setor da construção civil.



Os experimentos realizados nesse contexto visaram demonstrar o valor das tecnologias da Indústria 4.0 integradas ao BIM, ainda que o cenário no Brasil de hoje, em termos de amplo emprego de componentes industrializados, de implantação de BIM 4D e práticas de gestão *Lean* nas obras seja diferente do que o considerado como ideal para maximizar os benefícios advindos da solução proposta.

Experimentos controlados em ambientes reais foram executados para testar a viabilidade do conceito. Os resultados indicam que o sistema é tecnicamente viável, oferecendo o potencial para envio automáti-

co e em tempo real de informações para o controle do projeto, num custo que deve ser cada vez mais competitivo.

Dadas às restrições impostas à realização dos experimentos, optou-se por implantar as tecnologias de *Blockchain*, IoT e Computação em Nuvem no canteiro de obra e demonstrar, mesmo que indiretamente, como os dados gerados podem ser integrados aos modelos BIM 4D. Além disso, demonstrar como esta integração pode proporcionar um controle e gestão da produção baseada na localização de serviços em uma estrutura de divisão de trabalho segundo a chamada *Location Breakdown Structure* (LBS).

Há uma frente de pesquisa e desenvolvimento necessária para a implantação de soluções com o uso de dispositivos IoT em canteiro de obras.

Desta forma, com os experimentos realizados, conclui-se que:

- Há um grande potencial na integração de tecnologias da Indústria 4.0 com a prática do BIM, mas aplicações inovadoras ainda demandam desenvolvimento;
- Pelas características do setor da Construção e das tecnologias da Indústria 4.0, as soluções existentes ainda são específicas e as construtoras precisam de auxílio para implementá-las gradualmente;
- O mercado necessita de startups para desenvolver hardware específico para o setor da Construção;
- O mercado da construção civil carece de empresas que possam, por meio de parceria com startups, desenvolver, avaliar e selecionar soluções existentes e aplicá-las a problemas e necessidades específicas do setor da construção civil.



MINISTÉRIO DO
**DESENVOLVIMENTO,
INDÚSTRIA,
COMÉRCIO E
SERVIÇOS**

