

Guia Orientativo de
**Uso de Tecnologias
da Indústria 4.0
e BIM na Gestão
de Ativos**

Guia Orientativo Uso de Tecnologias da Indústria 4.0 e BIM na Gestão de Ativos

FICHA TÉCNICA

PELA EQUIPE DO MDIC

EQUIPE TÉCNICA

Alessandra Teixeira
Dário 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 Muller 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***

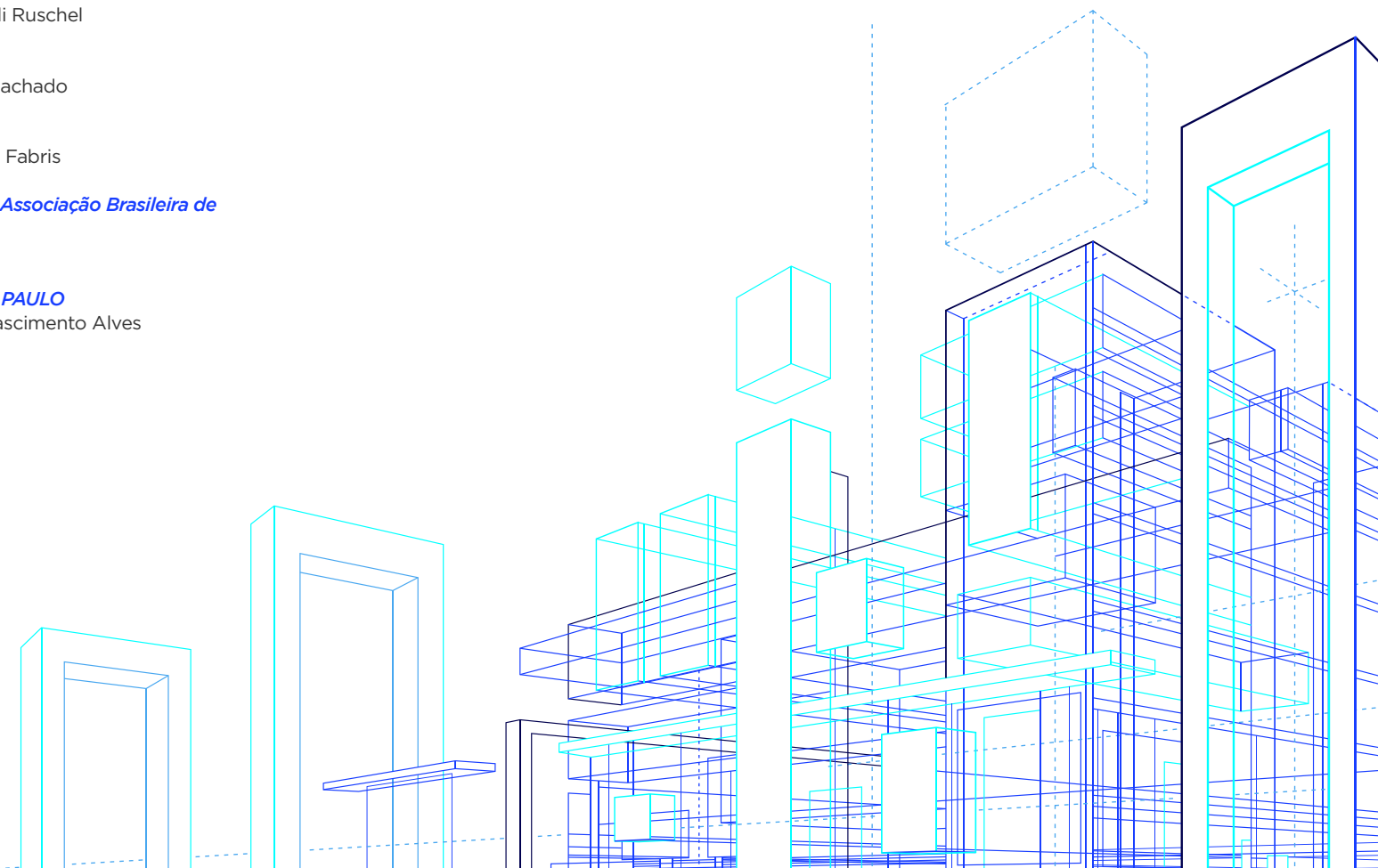
Marcelo Sá

SENAI SÃO PAULO

Cristiano Nascimento Alves

PROJETO GRÁFICO
E DIAGRAMAÇÃO

Gadioli Branding



Guia Orientativo Uso de Tecnologias da Indústria 4.0 e BIM na Gestão de Ativos

AGRADECIMENTOS

ABCIC

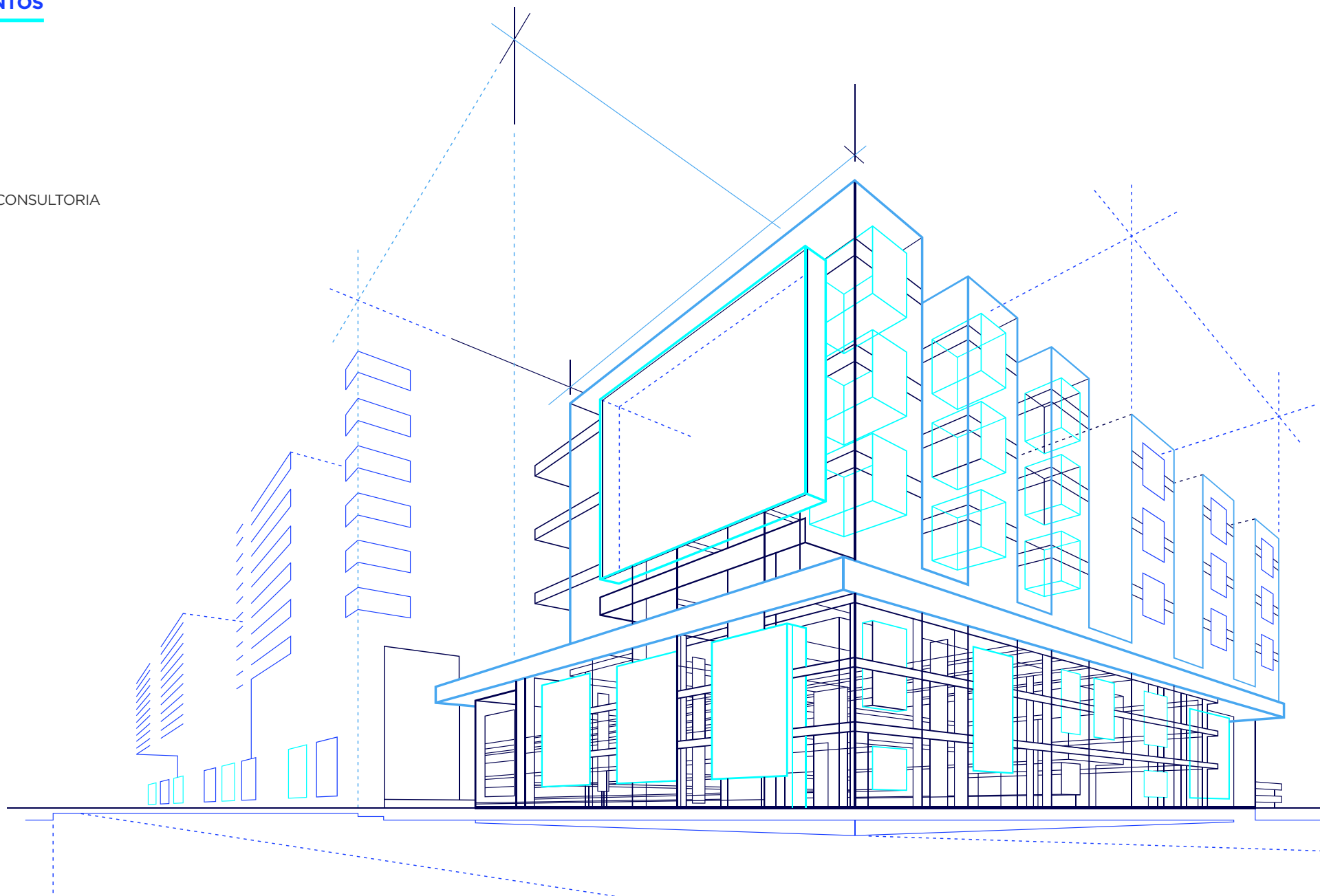
ACCA SOFTWARE

AUTODESK

CEITEC

iBIM PROJETOS E CONSULTORIA

SENAI SÃO PAULO



Apresentação – Construa Brasil

O Projeto Construa Brasil foi idealizado pelo Governo Federal com o objetivo de melhorar o ambiente de negócio do setor da construção 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, consequentemente, 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 que podem proporcionar 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 relacionados 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 DE ATIVOS

Este Guia Orientativo traz uma visão sobre os experimentos realizados em edificação existente para coleta automática de dados sobre as condições de uso do ambiente construído e para uso desses dados associados ao modelo BIM como suporte à gestão de ativos com aplicações integradas de IoT e BIM.

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 Guia Orientativo
- 1.2 O BIM e as tecnologias I4.0
- 1.3 Objetivo do experimento
- 1.4 Visão Geral do Sistema Desenvolvido

25 2. CONCEPÇÃO DO SISTEMA

- 2.1 Módulo Internet das Coisas (IoT)
 - 2.1.1 Sobre a Seleção dos Dispositivos
 - 2.1.2 Sobre os Sensores Empregados
 - 2.1.3 Sobre a Comunicação de Dados
 - 2.1.4 Sobre os Serviços de Nuvem Empregados
 - 2.1.5 Sobre o Desenvolvimento da Aplicação
 - 2.1.6 Séries Temporais
- 2.2 Modelagem BIM para Gestão de ativos
 - 2.2.1 Modelo BIM
 - 2.2.2 Produto: Ambientes e Sensores
 - 2.2.3 Processo e controle: Gestão de Ativos
- 2.3 Integração IoT – BIM

58 3. EXPERIMENTOS REALIZADOS

- 3.1 Módulo Internet das Coisas (IoT)
 - 3.1.1 Infraestrutura e Soluções Adotadas
 - 3.1.2 Dispositivos e Sensores
- 3.2 Desenvolvimento do Modelo BIM
- 3.3 Registro IoT – BIM

72 4. IMPLEMENTAÇÃO

- 4.1 BMS IoT
- 4.2 Implementação pela ACCA
- 4.3 Implementação pela Autodesk

83 5. SOBRE A INTEGRAÇÃO BMS, BIM E IOT

85 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construction worker wearing a grey hard hat and a high-visibility yellow safety vest over a light blue shirt is seen from the back, holding a tablet computer. The tablet screen displays a 3D architectural rendering of a building. The background shows a construction site with scaffolding, steel beams, and a large industrial building under a clear blue sky.

1.

INTRODUÇÃO

EXPERIMENTOS CONTROLADOS EM CANTEIROS DE OBRAS

GESTÃO DE ATIVOS

Este documento é fruto da iniciativa do Governo Federal, incluída no Projeto Construa Brasil, de “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 está relacionado à gestão e ao controle de ativos.”

1.1

**A quem se destina
este guia orientativo**



Empresários e profissionais do setor de AECO em geral

responsáveis pela contratação de serviços para automação de processos na gestão de ativos de construção.



Membros das instituições de ensino e pesquisa e desenvolvedores de sistemas

interessados em desenvolver equipamentos e software para lidar com as especificidades do setor de AECO



Empreendedores ligados às Construtechs¹

que almejam criar startups para desenvolver sistemas e/ou prestar serviços na esteira da transformação digital

¹ Startups de base tecnológica que atuam no setor de AECO.

1.2

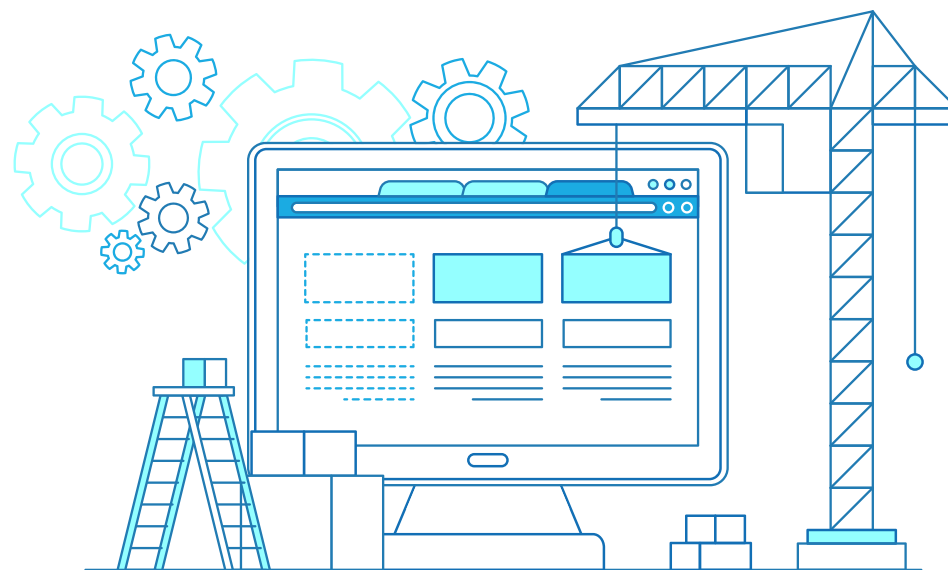
O BIM e as Tecnologias da Indústria 4.0

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 – que favorece a compreensão e, conseqüentemente, facilita a gestão e as tomadas de decisão.



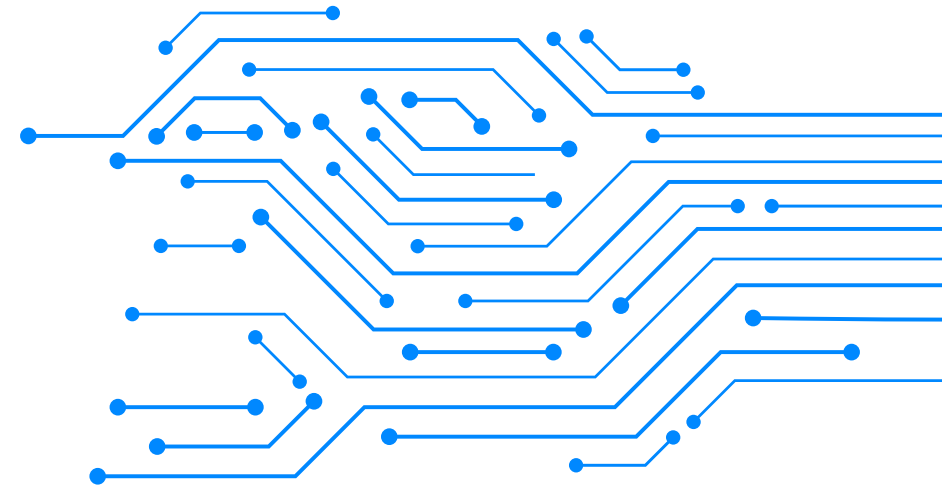
Considerando o BIM como instrumento de transformação digital, o Governo Federal vem gradualmente promovendo ações em prol da adoção do BIM pelo setor público brasileiro. Por meio dos decretos de números 9.983 e 10.306, respectivamente de 2019 e 2020, foram estabelecidas as bases estratégicas para o emprego do BIM em obras e serviços de engenharia realizados pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal. Com a promulgação da nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos (Lei Nº 14.133), instituiu-se o preceito de “promover a adoção gradativa de tecnologias e processos integrados que permitam a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de obras e serviços de engenharia”, sendo o BIM a prática preferencialmente adotada para as licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura.

A nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos (Lei 14.133) entrará em vigor 30 de dezembro de 2023, entretanto já pode ser opcionalmente aplicada (MP Nº 1.167, de 31 de março de 2023).

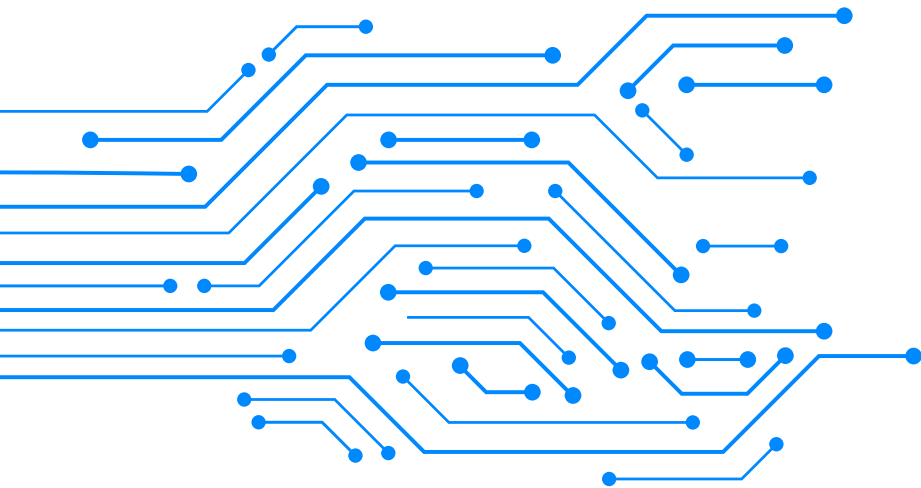


Componente essencial da transformação digital no setor da Construção, o BIM (e toda tecnologia computacional associada a ele) foi pioneiro ao transpor a barreira cultural de um setor que pouco investe em inovação tecnológica. Num horizonte próximo, há um conjunto de tecnologias que podem traçar um caminho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

No presente 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 de **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 venham 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. São 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 - 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.

1.3

Objetivo do Experimento

Ao longo da última década e, para além dos esforços de se aproveitar o modelo BIM gerado nas fases de projeto e construção nas fases de operação e manutenção de uma edificação dentro de um Sistema de Gestão Predial (Building Management Systems - BMS), constata-se que é a tecnologia de IoT que tem ampliado o horizonte de funcionamento e a possibilidade de otimização deste tipo de sistema.

Obter informação atualizada sobre as condições de uso da edificação e de seus sistemas, e associá-las à informação sobre a ocupação do ambiente construído, é um problema recorrente; as tecnologias empregadas tendem a focar apenas na automação e no monitoramento para o correto funcionamento dos sistemas prediais. Atualizações e melhorias destes sistemas empregando a mesma tecnologia são sempre associadas a elevados custos.

Assim, a tecnologia da IoT pode ser parte da solução deste problema:

- Com custo bastante inferior do hardware, permitindo monitorar não apenas os componentes dos sistemas prediais, mas também o ambiente no qual estão instalados;
- Pela simplificação da instalação dada a ampla compatibilidade do hardware com a tecnologia de comunicação sem fio;
- Devido aos protocolos de comunicação compatíveis com a web, permitindo a integração dos dados em dashboards que facilitam a análise do uso das instalações e seus sistemas.

Com o surgimento dos modelos BIM em aplicações de gestão de ativos, criou-se também um nicho de mercado para os fabricantes de software colocarem novos produtos nesta lacuna de soluções que integram streaming de dados vindos de sistemas IoT com a visualização e interação de informações e modelos 3D vindos do modelo BIM.

Os atuais sistemas de gestão predial BMS e os profissionais que os operam estão passando por mais um processo de transformação. **Nesse sentido, há grande interesse na realização de um experimento de integração IoT e BIM com este foco.**

O objetivo do experimento é **demonstrar como integrar a Internet das Coisas (IoT) e a Computação em Nuvem, tecnologias da Indústria 4.0, com as informações no modelo BIM.** A demonstração consiste em coletar automaticamente os dados sobre as condições de uso do ambiente construído e disponibilizar estes dados associados ao modelo BIM como **suporte à gestão de ativos.** Com dados mais completos, com mais qualidade e de maneira mais frequente, valoriza-se a **informação** nas tomadas de decisão.

1.4

Visão Geral do Sistema Desenvolvido

O sistema proposto permite demonstrar como dados de sensores quaisquer, vindos de vários dispositivos ou pontos de medição, podem ser integrados a modelos BIM e acessados por meio de uma interface que mantém comunicação bilateral em tempo real (instantânea), tanto com repositório de modelos BIM quanto com sistemas IoT.



A facilidade com que é possível fazer essa integração com a tecnologia atual à disposição pode fomentar duas frentes de desenvolvimento:

1

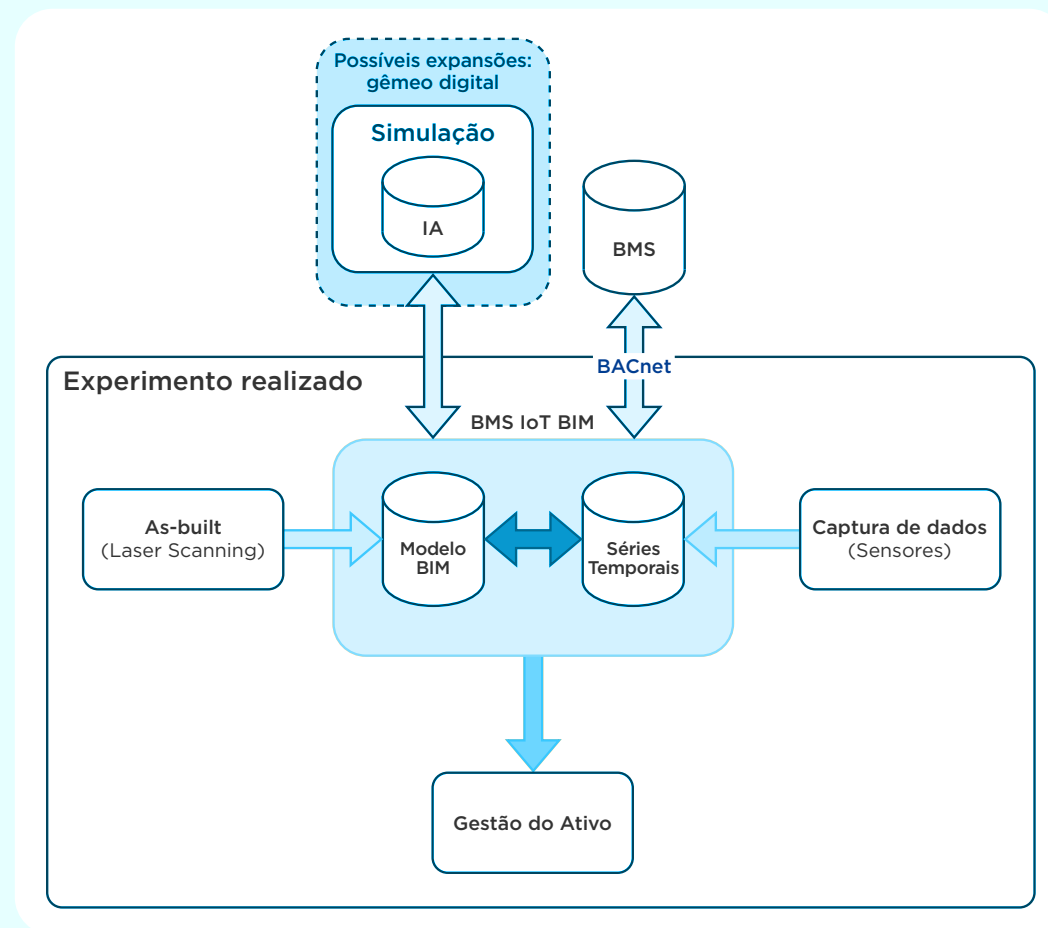
emprego de **análise de dados e realização de simulações** a partir da disponibilidade de modelos geométricos integrados a dados de diferentes sensores e sistemas automatizados;

2

expansão em termos de **hardware e software para realizar a gestão dos empreendimentos**, para além das infraestruturas legadas que focam apenas em sistemas isolados e, sensores e dados apenas de componentes dos próprios sistemas, sem considerar como efetivamente o espaço pode ser caracterizado e como está sendo utilizado.

A Figura 1 ilustra a solução desenvolvida. Considerando a moldura do Experimento Realizado, o sistema chamado de **BMS IoT BIM** contém duas fontes de dados ou informações: de um lado um modelo BIM e de outro os dados dos sensores que vão continuamente se acumulando. Para além do que será demonstrado no experimento, há a possibilidade de: integrar o sistema a um sistema de gestão predial BMS existente, que traria benefícios mais tangíveis, mas também a complicação adicional de empregar o protocolo BACnet e verificar toda sorte de compatibilidades; e de desenvolver **modelos funcionais** da edificação e de seus sistemas para a realização de simulações de desempenho mais avançadas do que as existentes nos tradicionais fluxos BIM de trabalho, adicionando a elas as séries históricas e algoritmos de Inteligência Artificial.

Figura 1 - Esquema da solução proposta





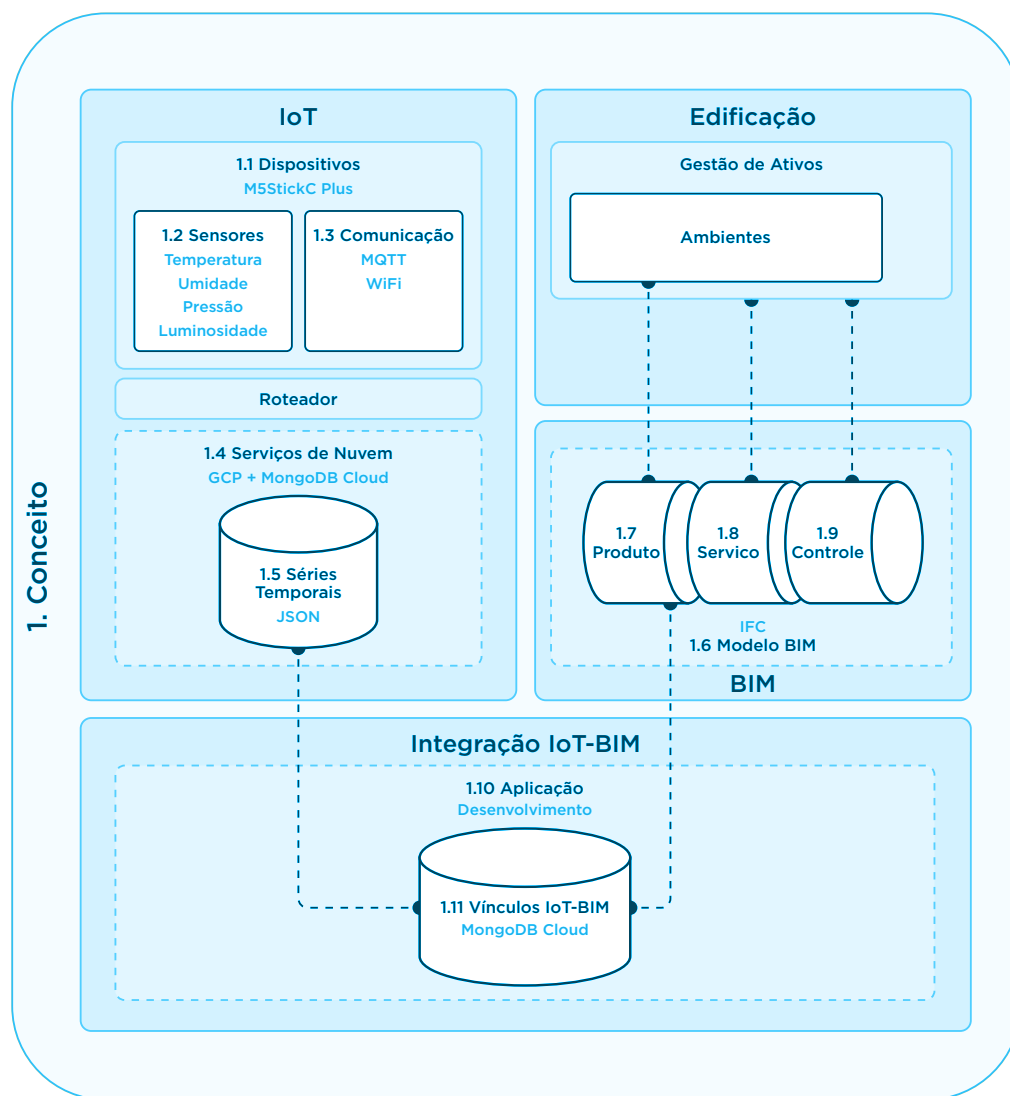
2.

CONCEPÇÃO DO SISTEMA

Na **Concepção** do sistema, decidiu-se que o foco do experimento seria a criação de ambientes internos a uma edificação onde o conforto dos usuários estaria associado a um conjunto de grandezas físicas medidas por sensores a serem instalados nos locais.

Para demonstrar como as tecnologias de Internet das Coisas e de Computação em Nuvem podem ser empregadas em conjunto com modelos BIM para fazer a gestão de ativos, decidiu-se pela criação de um sistema onde a organização da informação provinda do modelo BIM também organizaria os históricos de dados dos sensores espalhados por diferentes ambientes de uma edificação.

Figura 2 - Diagrama modular conceitual do sistema de integração IoT-BIM



O esquema conceitual do sistema pretendido traz os três módulos visando a integração IoT-BIM (Figura 2). Um sistema de busca e filtragem das informações integradas permite uma análise mais precisa da operação da edificação. Dessa forma, por meio de uma interface na web, o gestor da edificação poderia analisar e correlacionar dados de diferentes grandezas físicas para entender como o ambiente é utilizado e otimizar a operação dos sistemas nele existentes.

Dada a dificuldade em se integrar esse novo sistema com sistemas automatizados existentes e implementados por empresas terceirizadas em edificações comerciais que operam continuamente, o foco do experimento foi colocar um sistema complementar em funcionamento para demonstrar a maturidade e o potencial destas novas tecnologias.

Usando as informações estruturadas de um modelo BIM e caracterizando dentro dele os dispositivos e sensores de Internet das Coisas a serem instalados em diferentes ambientes de uma edificação espera-se gerar pela coleta automática e periódica de dados dos sensores, uma representação mais adequada do uso do local e de seus diversos sistemas, como os de iluminação e de ar-condicionado, por exemplo. Com a implementação da Internet das Coisas, aumenta-se a quantidade de pontos de coleta de dados e a diversidade de grandezas físicas medidas em cada localidade, permitindo correlação entre elas e uma análise mais fundamentada em dados.

A coleta automatizada de dados é feita por dispositivos ou pequenos computadores com diferentes tipos de sensores que medem distintas grandezas físicas, como a temperatura, umidade, pressão e luminosidade do ambiente construído.

O sistema pode ser decomposto em três partes:

1**Módulo Internet das Coisas (IoT)****2****Modelagem BIM para Gestão de Ativos****3****Integração IoT - BIM**

2.1

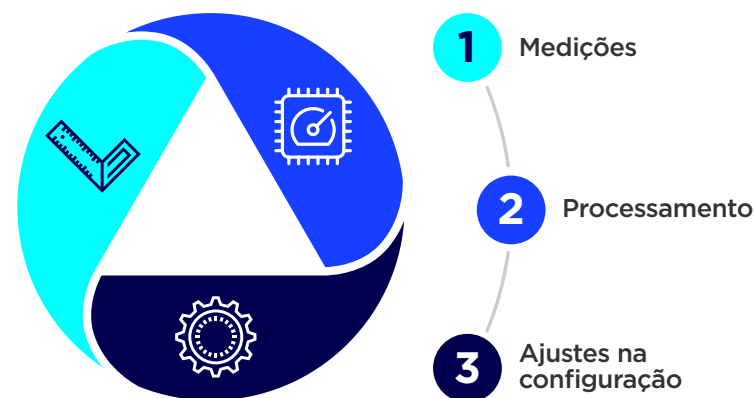
Módulo Internet das Coisas (IoT)

O módulo IoT pode ser considerado como uma solução completa em si: um aplicativo poderia ser desenvolvido para mostrar o desempenho do ambiente construído, sem estar integrado à um modelo BIM – que pode ser visto como um conjunto de informações e uma prática complementar ao módulo IoT.

O módulo funciona num ciclo constante de envio e processamento de dados por meio da Computação em Nuvem, conforme ilustrado na Figura 3. A figura também ilustra a possibilidade de comunicação bidirecional, já que é possível enviar pela nuvem comandos que alteram a configuração, e assim, o funcionamento do dispositivo – como por exemplo a alteração da frequência de envio dos dados.

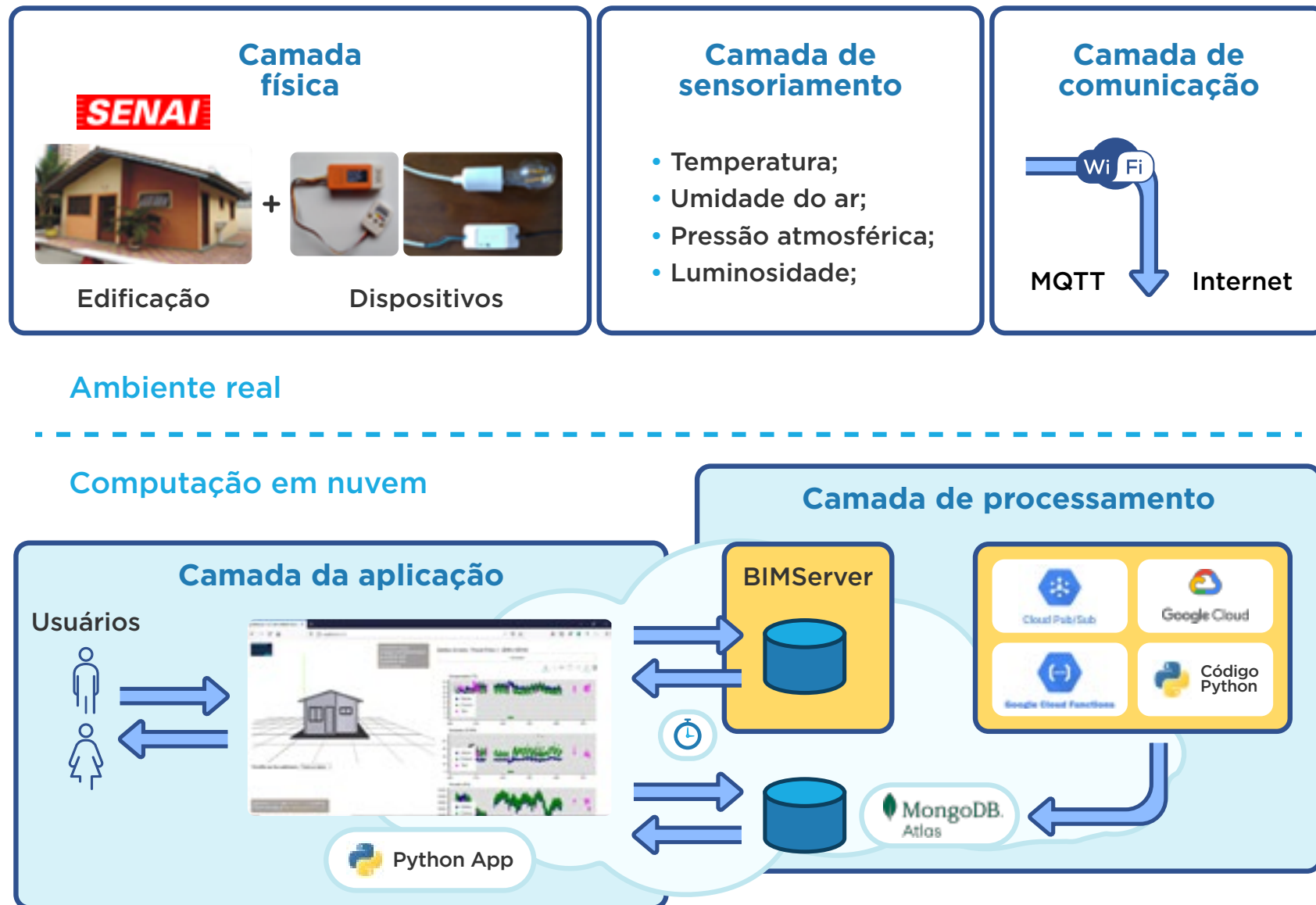
Fazem parte do módulo IoT os dispositivos, que são fixados nos ambientes a serem monitorados, a infraestrutura de internet existente na edificação, os serviços em nuvem que fazem o trabalho rotineiro de receber periodicamente os dados e armazená-los num banco de dados, e por fim um aplicativo desenvolvido especificamente para a integração com o modelo BIM.

Figura 3 - Ciclo de funcionamento do módulo IoT



A solução IoT concebida e implementada para este projeto-piloto está representada na Figura 4. A parte mais crítica era o acesso em tempo real às informações dos sensores, e o desenvolvimento de uma aplicação que pudesse integrar essa visualização, atualizada constantemente, com a visualização e manipulação de um modelo BIM.

Figura 4 - A solução IoT proposta para acompanhar a qualidade do ambiente interno remotamente.



Em linhas gerais, todo o fluxo de informações e a solução em si, pode ser dividida em cinco camadas específicas:

- **Camada Física:** composta pelo ativo construído, incluindo a divisão dos ambientes a serem monitorados, e pelos dispositivos instalados em cada ambiente;
- **Camada de Sensoriamento:** composta pelos sensores presentes nos dispositivos usados no monitoramento que enviam mensagens para a nuvem.
- **Camada de Comunicação:** composta em termos de hardware por um roteador e pela comunicação WiFi que permite que os dispositivos enviem os dados dos sensores pela Internet. E pelo protocolo MQTT de comunicação dos dispositivos com o serviço de nuvem;
- **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; **3)** Armazenar em caráter permanente, para criação de uma série histórica de dados para análise;
- **Camada da Aplicação:** composta por uma interface de programação de aplicação (Application Programming Interface - API) que permite acesso aos dados armazenados dos sensores, e a um aplicativo que possui interface gráfica para interação do usuário, disponibilizando visualização e interação com o modelo BIM e gráficos dos dados de sensores associados.

2.1.1

Sobre a Seleção de Dispositivos

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 de ativos, as seguintes características 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 per-

mite, a conexão dos sensores necessários para a aplicação, ele deve ser descartado. Para aplicações deste tipo, é importante considerar a quantidade de sensores (e o tipo de acoplamento) que podem simultaneamente ser adicionados ao dispositivo. Ambientes amplos podem demandar mais de um ponto de coleta de dados. Pode-se também combinar dispositivos diferentes, bem como conjuntos de sensores distintos para melhor caracterizar o ambiente;

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. Para o caso do ambiente construído, a prática corrente é fazer uso da conexão WiFi disponível para envio dos dados dos sensores;

Duração da bateria: para aplicações onde os dispositivos podem ser conectados diretamente na rede elétrica da edificação, não há a necessidade em se considerar a duração da bateria ou criar um código que envie menos dados numa menor periodicidade. A única questão na implementação seria realmente uma necessidade de economizar energia como um todo;

Encapsulamento: para operar numa edificação, o ideal é ter dispositivos protegidos e de difícil acesso, mas o seu encapsulamento não precisa ser especial já que, em geral, não é um ambiente sujeito a intempéries como um canteiro de obras;

Custo: dada a quantidade necessária de dispositivos e de sensores, na ordem de centenas, é importante que o custo seja baixo, porque ele aumenta proporcionalmente ao tamanho da edificação. Mas comparado ao custo dos sistemas atuais de automação e monitoramento, a tecnologia de IoT é bastante acessível;

Tamanho: é essencial que tenham dimensões pequenas e não descaracterizem muito a decoração do ambiente construído, já que eles são de instalação permanente em casos reais da aplicação.

2.1.2

Sobre os Sensores Empregados

Os sensores de um dispositivo são os elementos que nos permitem detectar à distância e automaticamente o que está acontecendo com o dispositivo e com o entorno no qual ele está imerso. Pode-se 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 aplicação².

Para a aplicação de gestão de ativos, é esperado que, direta ou indiretamente, seja possível:

Identificar: distinguir um ambiente ou dispositivo do outro. Funcionalidade mais trivial, onde basta a associação a um código de identificação individualizado;

Quantificar a operação da edificação: normalmente o mais desafiador e mais indireto, que está relacionado com o conhecimento do serviço em questão, e da padronização do mesmo.

² Discutiremos essa questão ao final do guia.

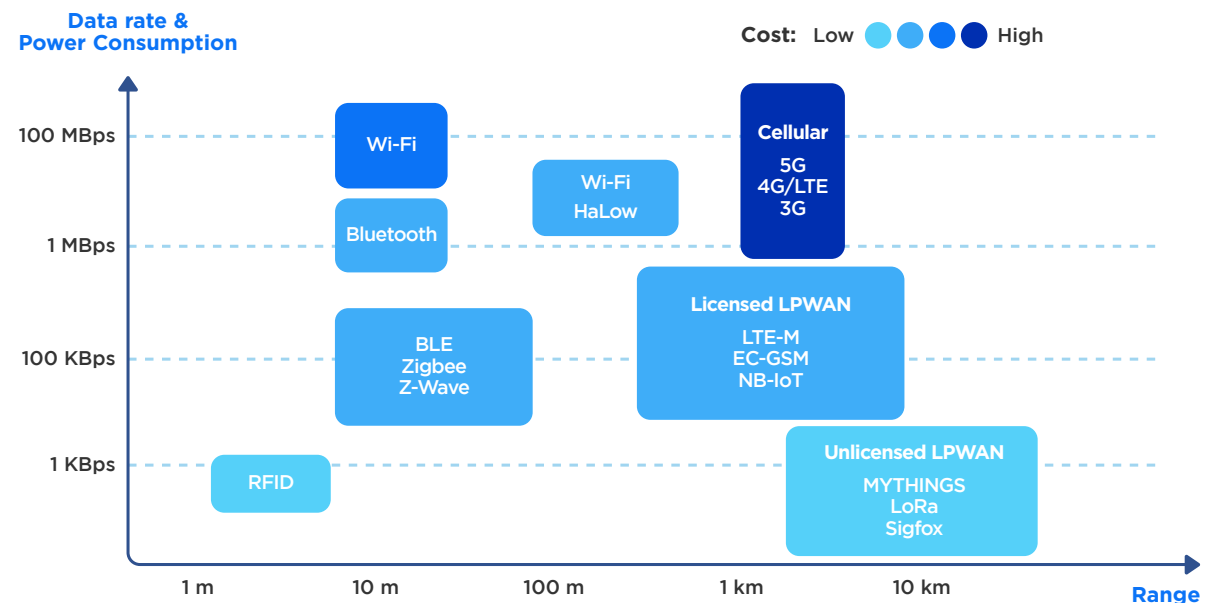
2.1.3

Sobre a Comunicação de Dados

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

- Comunicação do dispositivo com o equipamento que é o portal (gateway) para a Internet;
- Comunicação do equipamento que é o portal com a Internet em si;
- Comunicação entre dispositivos: que não foi considerada neste experimento.

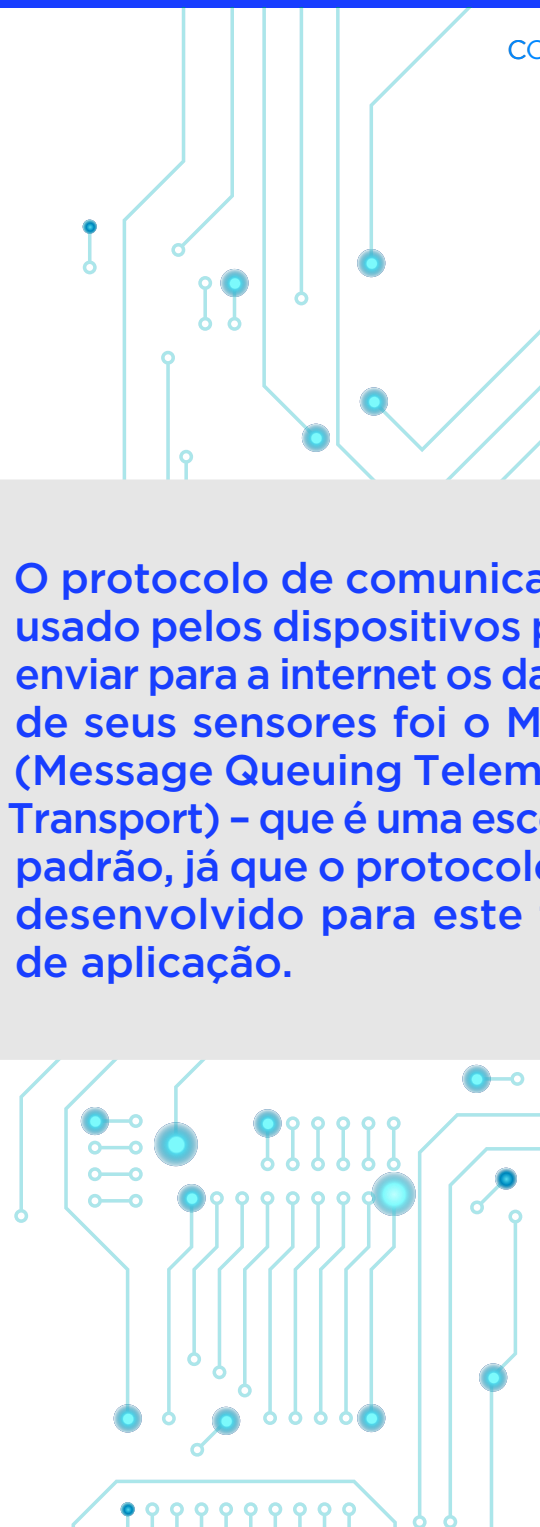
Figura 5 - Tecnologias de comunicação



Fonte: BEHR, Alberto. Best uses of wireless iot communication technology. In: Industry Today, December 10, 2018. Acesso: <https://industrytoday.com/best-uses-of-wireless-iot-communication-technology/>

Existem diferentes tecnologias que podem ser usadas para a comunicação entre o dispositivo e o gateway, conforme ilustra a Figura 5. A depender da tecnologia, o objetivo é encontrar uma faixa de operação onde a comunicação dos dispositivos com o gateway é compatível em termos da quantidade de dados que precisam ser enviados e a distância (e indiretamente a quantidade de gateways no ambiente) entre os equipamentos para viabilizar a comunicação. Sem contar o fato de que a comunicação consome energia, em termos da potência do sinal, da quantidade de dados e da frequência de envio.

Para o caso de dispositivos instalados dentro da edificação, a escolha da comunicação é mais simples, já que muitos ambientes dispõem de infraestrutura de internet sem fio, WiFi, e que pode ser usada também pelos dispositivos. Claro que para ambientes grandes, é necessário ter repetidores, mas normalmente é algo que afeta o próprio uso da rede, e, portanto, algo já resolvido quando da instalação dos referidos dispositivos.



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 à internet, uma possibilidade é usar uma estrutura cliente-broker³ assíncrona com base no protocolo MQTT:

³ 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 a que a comunicação de fato ocorra entre eles - <https://engprocess.com.br/mqtt-broker/>

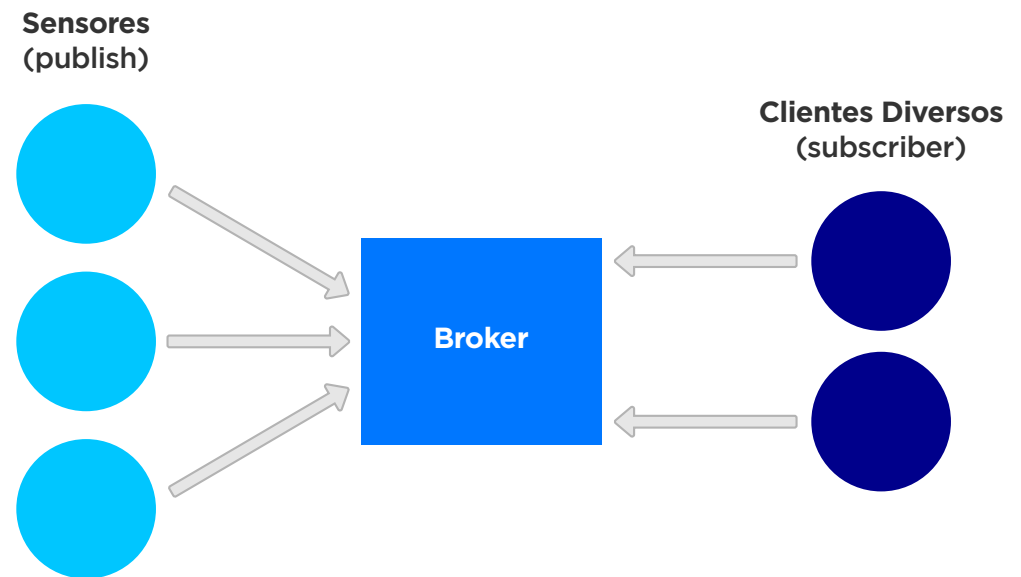
“...é um protocolo de mensagens leve para sensores e pequenos dispositivos móveis otimizado para redes TCP/IP. O esquema de troca de mensagens é fundamentado no modelo Publicador-Subscritor, extremamente simples e leve. Os princípios arquitetônicos são minimizar o uso de banda de rede e uso de recursos 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.”

– a partir de <https://mqtt.org/faq/>

Assim, tanto o dispositivo como parte do programa desenvolvido de integração IoT BIM são clientes MQTT, que assinam um canal onde serão continuamente postadas mensagens com os dados enviados pelo dispositivo (Figura 6).

Vale lembrar que o sistema depende de uma infraestrutura de micro serviços: o Broker MQTT, 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 precisa ser feita por meio de outro micro serviço.

Figura 6 - Estrutura padrão publish-subscriber do MQTT



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/MQTT>

2.1.4

Sobre a Seleção dos Serviços de Nuvem

Uma das decisões no projeto do módulo IoT foi empregar a Computação em Nuvem. O que significa que os dados saem da edificação, trafegam pela internet, são usados por serviços rodando em computadores espalhados pelo mundo, para posteriormente retornar à própria edificação ou a um usuário remoto por meio de um aplicativo. Neste trajeto, passam-se milissegundos ou até mesmo alguns segundos, a depender de fatores como a velocidade da internet no local, distância do servidor, a latência do serviço, e assim por diante.

Um ponto determinante para o uso da Computação em Nuvem é o fato de que a aplicação de gestão de ativos não precisa de ações instantâneas – normalmente a gestão do ambiente é feita com base em análises sobre dados acumulados ao longo do tempo, e qualquer anomalia

detectada poderá ter uma ação pré-configurada no sistema de automação ou ser resolvida em questão de minutos ou até horas por não ser crítica.

Deste modo, pode-se acelerar o desenvolvimento da solução como um todo fazendo uso de serviços gerais e robustos disponíveis na nuvem. E escalar facilmente uma ampliação do sistema contratando 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 os dados, e que esses não serão perdidos, porque haverá redundância no armazenamento das informações.

Assim, continuando o processo de concepção do fluxo dos dados no módulo IoT, o que temos neste ponto do fluxo são os dados saindo dos dispositivos e indo para a internet. Segundo o protocolo MQTT, os dispositivos são clientes que precisam que suas mensagens sejam publicadas e organizadas continuamente por meio de tópicos. Como foi visto, quem “gerencia” e recebe as mensagens dos clientes MQTT é o Broker MQTT. Como é um serviço genérico e configurável, decidiu-se por usar uma das muitas implementações existentes na nuvem.

Além do Broker MQTT, o próximo ponto do fluxo é o armazenamento dos dados – ou melhor, da 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, foi usada e configurada outra solução existente na nuvem, a da Google Cloud.

Notem que mesmo que os dados sejam referentes aos ambientes modelados e registrados nos modelos BIM, os dados não são continuamente escritos nos modelos! O módulo IoT é isolado da parte BIM da solução.

2.1.5

Sobre o Desenvolvimento da Aplicação

Conforme tendência observada junto aos fabricantes de software, decidiu-se por uma aplicação acessível por meio de um navegador de internet, que pudesse estar disponível a qualquer pessoa em qualquer lugar, desde que tivesse acesso à rede.

Decidiu-se também por dividir a aplicação em duas partes (Figura 7): primeiro foi desenvolvida uma API para dar acesso aos dados dos sensores armazenados no banco de dados, na forma de gráficos pré-estabelecidos – mas que podem ser facilmente personalizados; por fim, criou-se uma aplicação que têm acesso não apenas a esta

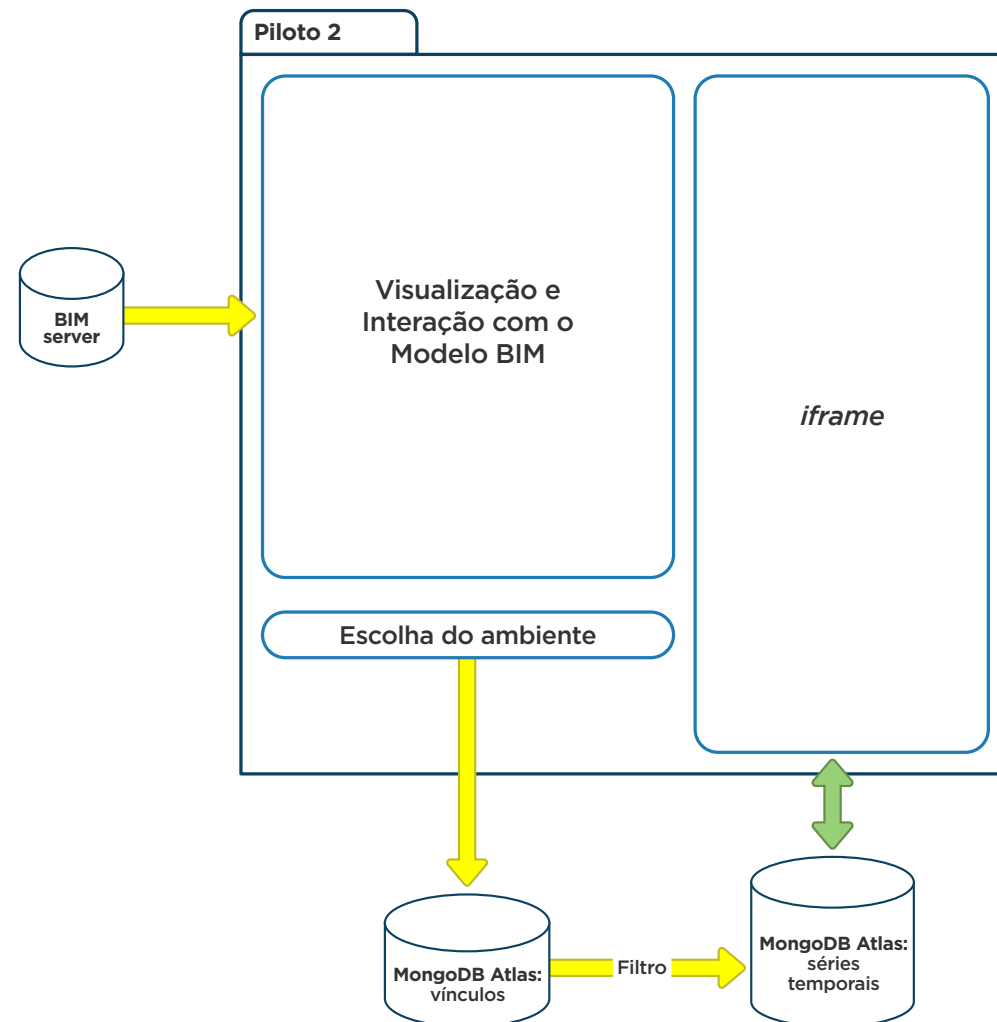
API, mas que também acessa o servidor de modelos BIM e o **banco de dados NoSQL**, para exibir ao mesmo tempo numa página web o modelo BIM e os dados históricos dos sensores.

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.

Os dados de cada tipo de sensor estão associados a uma “coleção” diferente dentro do banco de dados – o mais próximo de uma tabela num banco relacional. Dentro de cada coleção, há dados de todos os dispositivos. Ou seja, de todos os ambientes, e, portanto, há a necessidade de filtrar os resultados das consultas ao banco.

Não há uma preocupação aqui com o tamanho dos documentos armazenados, nem com a quantidade de documentos ao final, já que o custo do armazenamento é extremamente baixo. Mesmo assim, o tamanho dos documentos mantém-se pequenos para as velocidades de transferência à disposição e não afetam o desempenho do aplicativo.

Figura 7 - Layout da aplicação



2.2

Modelagem BIM para Gestão de Ativos

Os modelos da informação desenvolvidos por meio do processo BIM têm por objetivo fornecer uma base de dados digital que sirva como suporte à tomada de decisões ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos de construção civil. Apesar deste ciclo ser preponderantemente marcado por sua **fase operacional**, nota-se que o uso de modelos BIM para operação e manutenção de ativos se mostra incipiente quando comparado à prática do BIM na **fase de entrega**, que contempla o projeto, a construção e o comissionamento.



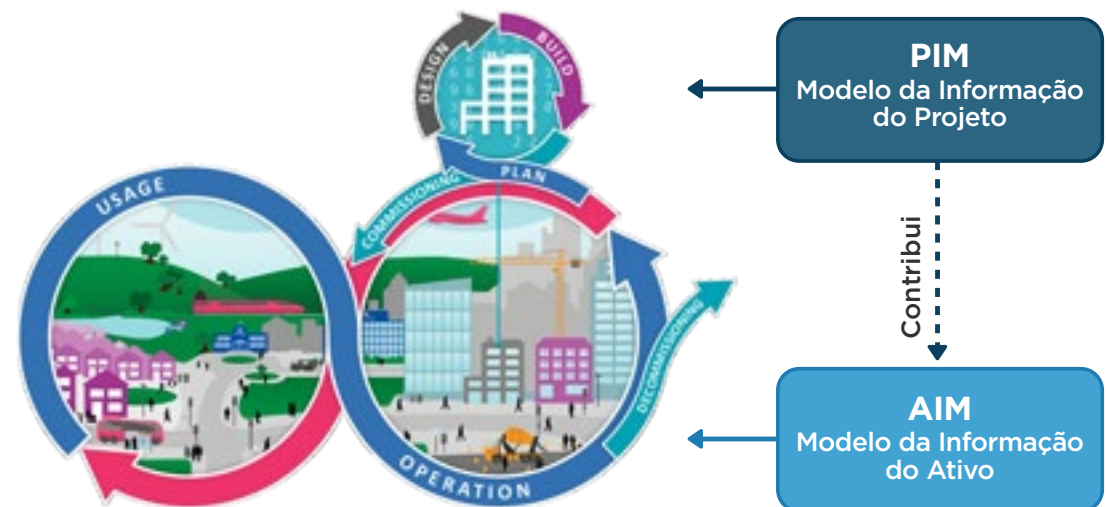
Isso pode ser visto como um percurso natural do processo de adoção do BIM. Embora seja possível aplicá-lo diretamente na gestão de ativos existentes, o seu uso demanda a digitalização do ambiente construído. Dessa forma, o mercado tem priorizado aplicá-lo inicialmente para o desenvolvimento de empreendimentos novos e utilizar os modelos BIM gerados ao longo da fase de entrega do ativo para a sua posterior operação.

De fato, o modelo de informação do ativo deve, sempre que possível, ser derivado do modelo do empreendimento⁴ “como construído”. Entretanto, deve-se ter em mente que o modelo BIM utilizado durante a fase operacional não é idêntico ao modelo BIM resultante da fase de construção, e que ambos os modelos possuem propósitos

de uso específicos e visam atender às necessidades de usuários que atuam em distintas fases do ciclo de vida do ambiente construído (Figura 8).

Figura 8 – Relação entre os modelos da informação gerados no ciclo de vida do ambiente construído

Fonte: adaptado de buildingSMART (2020) e ABNT NBR ISO 19650-1.



⁴ Segundo a norma ABNT NBR ISO 19650-1:2022, os modelos BIM são classificados como Modelo da Informação do Projeto ou PIM (Project Information Model), quando desenvolvido para subsidiar as atividades realizadas durante as fases de projeto e construção, e como Modelo da Informação do Ativo ou AIM (Asset Information Model), quando desenvolvido para suportar as atividades e processo realizados ao longo da fase operacional do ativo construído.

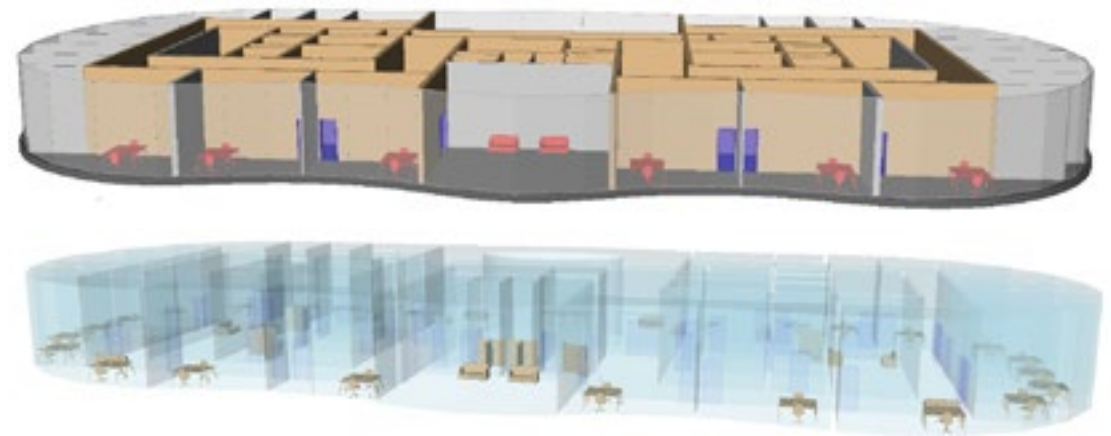
Para além de representarem virtualmente as características geométricas e funcionais de um ativo construído (um produto da indústria da construção, tal como um edifício ou uma obra de infraestrutura), esses contêineres de informações podem conter, por exemplo, a representação digital dos processos e controles adotados em sua construção ou nas atividades relacionadas a sua operação e manutenção.

Em contraste ao modelo da informação do projeto gerado na fase de projeto e construção, o qual baseia-se nos requisitos e critérios de desempenho que o ativo deve possuir quando construído, o Modelo da Informação do Ativo pode conter outras informações consideradas pertinentes à gestão sistêmica do ativo, tais como informações sobre o desempenho do ambiente construído e dos equipamentos nele inserido, datas de instalações e manutenção, custos de manutenção ou dados de garantia.

Cabe ressaltar que esta classificação básica não significa que sejam gerados somente dois modelos da informação (modelos BIM), um para a fase de entrega e outro para a fase operacional. De acordo com os objetivos de cada empreendimento podem coexistir modelos BIM com propósitos de uso específico. Tais modelos podem representar variantes de um modelo BIM preexistente ou serem produzidos para atender a um propósito em particular.

A Figura 9 apresenta, como exemplo, uma vista parcial de duas versões de um modelo BIM exportado ao formato IFC5. Acima, uma versão contendo a representação geométrica detalhada dos elementos construtivos de um edifício e, abaixo, uma versão específica à gestão de ativos, com a representação espacial do modelo e dos equipamentos nele inserido.

Figura 9 – Versões de modelos exportados ao formato IFC para distintos propósitos de usos BIM



Fonte: (Maciel et al., 2017)

No caso de empreendimentos novos, concebidos em BIM, recomenda-se que os principais requisitos necessários à operação do ativo sejam previstos já na fase de projeto, para se evitar ou reduzir o retrabalho de adequação do modelo para a gestão de ativos.

Entende-se que, muitas vezes, algumas dessas informações não estão disponíveis nas fases iniciais e que serão definidas no decorrer do projeto, na fase de construção ou na fase de operação. Desta forma, podem ser previstas nos objetos BIM propriedades que terão os seus valores preenchidos quando as informações estiverem disponíveis (placeholder).

⁵ Exportadas, respectivamente, com base nos formatos IFC 2x3 Coordination View 2.0 e IFC 2x3 FM Handover.

2.2.1

Modelo BIM

A decisão mais fácil com relação ao desenvolvimento da parte BIM do experimento consistiu na adoção do esquema de dado IFC (Industry Foundation Classes). Por ser aberto e publicado como uma norma internacional (ISO 16739-1:2018). O esquema IFC é a solução mais adequada para novos experimentos e para o uso e disseminação do BIM.

Para além do uso corrente do esquema IFC adotado atualmente pelos fabricantes de software, a especificação do esquema de dados em sua totalidade permite o estudo e a proposição de novos fluxos de informação dentro da prática do BIM, como a

proposta de integração IoT e BIM aqui apresentada. Devido ao caráter experimental, por vezes exigiu-se a criação ou adequação dos modelos BIM por meio de programação via o módulo **IfcOpenShell-Python**, ou a entrada de informação diretamente em editores de texto comuns.

Ademais, como este guia trata do significado dos elementos dos modelos BIM e a integração de suas informações com a Internet das Coisas (IoT), cada fabricante de software poderá adaptar as discussões aqui apresentadas com base na versão vigente do esquema IFC para os seus próprios modelos proprietários.

No que diz respeito ao modelo BIM criado para a gestão de ativos, além dos requisitos particulares à gestão de cada empreendimento, recomenda-se que:

a **classificação** dos objetos esteja aderente ao esquema IFC, inclusive quanto a especificação do subtipo correspondente (atributo `PredefinedType`);

a **estrutura espacial** do modelo atenda, sempre que possível, não somente às necessidades das fases de projeto e construção, mas também à fase de operação;

a **nomenclatura dos objetos** seja padronizada, considerando a codificação que será adotada na fase de operação do ativo;

o **código de identificação único** de cada objeto seja mantido fixado a partir de sua primeira exportação ao formato IFC (atributo `GlobalId`), de modo a permitir a sua rastreabilidade;

Sejam adotados os **conjuntos de propriedades** previstos oficialmente pelo esquema IFC para a declaração das características dos objetos.

2.2.2

Produto: Ambientes e Sensores

De acordo com a estratégia prevista para a gestão do ambiente construído, podem ser adotadas distintas formas para a representação do modelo de informação do ativo, em particular quando destinado à integração com dados IoT.

O primeiro aspecto a ser considerado é qual o refinamento necessário para o desenvolvimento do modelo e como os dados de desempenho obtidos pelos dispositivos IoT ou equipamentos dotados desta tecnologia serão integrados com as informações do modelo.

Por exemplo, quando tratamos da gestão de complexos construídos ou de portfólio de ativos imobiliário e almejamos integrar dados

relativos ao desempenho de uma unidade construída, pode-se optar pela representação simplificada do empreendimento. Caso o foco seja a gestão dos ambientes de uma unidade construída, o modelo deste empreendimento pode se limitar a representação de sua estrutura espacial.

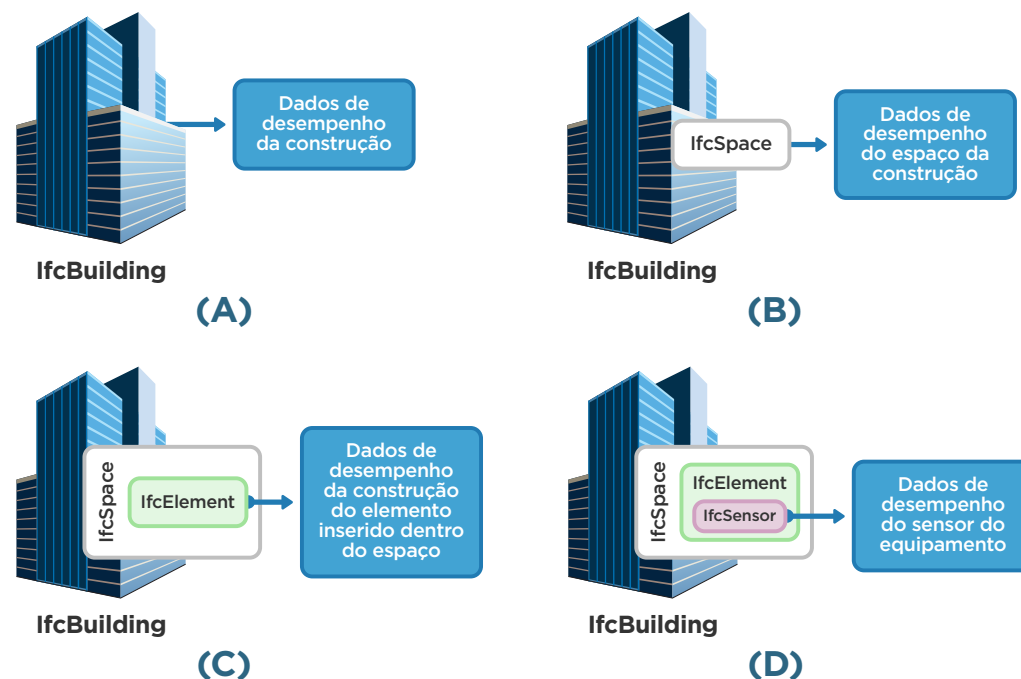
Em outras situações, pode-se adotar a representação explícita de cada equipamento ou dispositivo IoT – caso a gestão bem como os dados a serem integrados sejam tratados ao nível de um componente – ou até ao nível de um subcomponente – caso seja preciso detalhar as suas características de forma explícita e independente do objeto em que ele esteja acoplado.

Portanto, como premissa para o desenvolvimento do modelo, deve-se considerar **a qual objeto virtual** incluído no modelo BIM **se deseja associar as informações de desempenho**, seja este objeto a representação digital de um elemento físico, tal como o próprio dispositivo IoT, ou de algo conceitual como um espaço da construção.

A Figura 10 ilustra algumas maneiras para se representar o objeto com o qual os dados de desempenho serão associados: **A** – diretamente à construção (IfcBuilding); **B** – a um espaço definido no modelo (IfcSpace); **C** – num elemento, equipamento ou componente (subtipos de IfcElement); **D** – para a um subcomponente agregado a um elemento, como um sensor.

Esta definição possui relevância porque nem sempre precisamos gerenciar individualmente cada dispositivo IoT inserido no ambiente construído para se atingir o resultado esperado. De acordo com os requisitos de cada empreendimento, as informações podem ser orientadas ao objeto a ser sensorado (ao ativo de interesse) sem que o sensor esteja modelado explicitamente.

Figura 10 - Refinamentos das informações do modelo BIM para integração de dados de desempenho



Fonte: iBIM Projetos e Consultoria (2021)

2.2.3

Processo e Controle: Gestão de Ativos

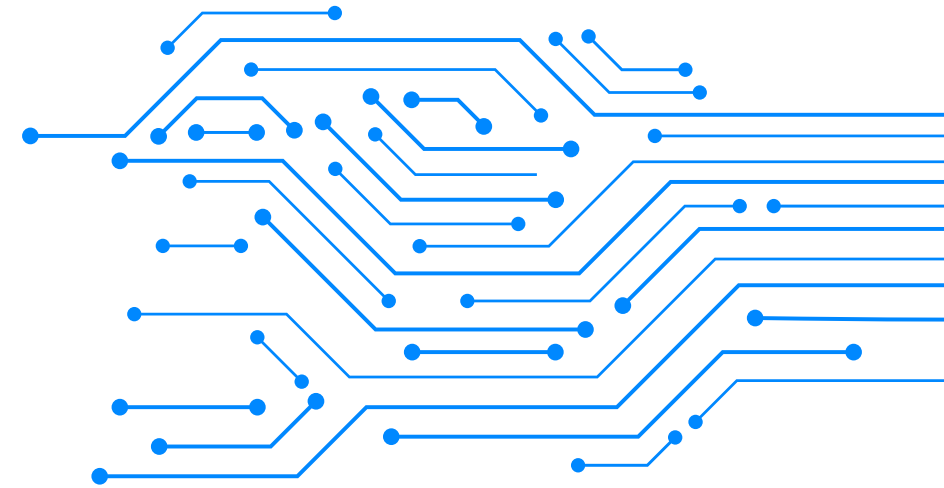
Na atualidade, nota-se que os modelos BIM empregados no suporte à fase operacional são utilizados, basicamente, para fins de visualização ou para a transferência das informações contidas no modelo BIM para sistemas computacionais externos, específicos para a gestão de ativos.

Em geral, tais modelos BIM limitam-se a representação das informações físicas e espaciais do ativo “como construído” (modelo do produto) e são tratados de forma estática, como o registro das informações

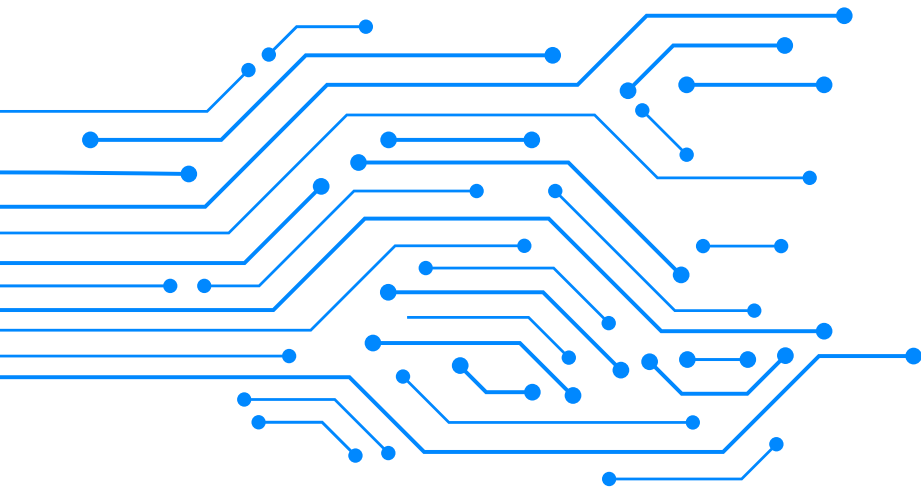
do ativo à época de sua construção ou da captura de suas condições existentes.

Embora seja possível incluir no modelo BIM informações referentes aos processos e ao controle das atividades realizadas na operação e manutenção do ambiente construído, a centralização destas informações no modelo nem sempre se mostra adequada à dinâmica do processo de gestão de ativos, seja devido ao grande volume de dados gerados nesta etapa, ou a falta de softwares capazes de consumir estas informações diretamente a partir do modelo BIM.

Por outro lado, entende-se que a segregação das informações relativas ao processo e controle em múltiplas bases de dados externas ao modelo BIM do produto requer maior esforço para garantir a rastreabilidade, confiabilidade e atualização das informações, e que a inserção ao menos que parcial destas informações no modelo pode beneficiar a prática do BIM aplicada à gestão de ativos.



Por exemplo, a associação de dados sobre o desempenho que um espaço ou equipamento deve possuir durante a fase de operação pode facilitar a avaliação do atendimento aos limites de desempenho previstos ou simulados na fase de projeto, e dos requisitos definidos pelo proprietário do ativo ou especificados pelos órgãos normativos.



2.3

Integração IoT – BIM

Quando falamos em integração com o BIM, nos referimos ao potencial uso de novos dados associados diretamente às informações já existentes nos modelos BIM. Dependendo da natureza destes novos dados, a integração pode ser feita de tal modo que o acesso a todos os dados se dá internamente aos programas de autoria BIM. Em outros casos, são criadas aplicações totalmente novas e externas aos programas BIM, que precisam estar conectadas a bancos de dados e em última instância a um arquivo ou modelo BIM, para dar acesso aos novos dados e às antigas informações da construção referentes à parte BIM, de modo associado.

Tomando o esquema de dados abertos IFC, promovido pela buildingSMART e publicado como uma norma internacional pela ISO⁶, como referência às informações contidas em modelos BIM, pode-se analisar as alternativas existentes para termos esses novos dados associados 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, que representam 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 represen-

tam sensores (IfcSensors) e os dados coletados por eles (IfcRegularTimeSeries; IfcIrregularTimeSeries), assim como o planejamento e controle do processo construtivo (IfcTask; IfcWorkPlan; IfcSchedule). Isso significa que seria possível, apenas armazenando as informações dentro de modelos BIM, realizar os experimentos desejados. Mas 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 sensoramento contínuo de dados e a aquisição de uma série histórica de dados, logo percebemos que apesar de possível, não é dentro de um modelo BIM que estes dados devem ser armazenados ou de onde devem ser acessados continuamente por outras aplicações.

⁶ A especificação da versão vigente do esquema IFC (IFC 4.0.2.1), equivalente à norma ISO 16739-1:2018, encontra-se disponível para consulta pública em: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/

Segundo pesquisa realizada⁷ que analisou diversas iniciativas, observam-se cinco **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.** A ideia desta abordagem é trabalhar com base de dados relacionais, usando a API para transformar as informações do BIM numa base de dados relacionais:

- por meio das API's (Application Programming Interface) das ferramentas de autoria;
- por meio de 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**:

- tanto nos modelos BIM quanto nas bases de séries temporais;
- apenas nos modelos BIM, e criando buscas com SQL a partir das tecnologias da web semântica.

⁷ 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.

Apesar da atualidade do referido trabalho, há de se considerar as bases de dados não relacionais, **NoSQL**. Mas a exposição e análise continuam válidas no sentido de transformar as informações do modelo BIM de modo a compatibilizar com o acesso aos dados do banco.

A forma como a integração dos dados vindos dos dispositivos IoT pode ser feita com o modelo BIM ainda é assunto de pesquisa dentro das 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, consideramos 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.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace ArrayListTest
{
    public class ArrayList
    {
        public Student getValueAt(int pos)
        {
            return data[pos];
        }
        public void nz()
        {
            int q = getLength(), p=q-1;
            Student[] a = new Student[q];
            for(int i=0; i<q; i++)
            {
                data[i] = a[i];
            }
        }
        public ArrayList dividedByboy()
        {
            ArrayList boy = new ArrayList(this.b);
            int b = 0;
            for (int i = 0; i < this.length; i++)
            {
                if (this.data[i].gender == "man")
                {
                    boy.data[b] = this.data[i];
                    boy.length++;
                }
            }
            return boy;
        }
        public ArrayList dividedBygirl()
        {
            ArrayList girl = new ArrayList(this.g);
            int b = 0;
            for (int i = 0; i < this.length; i++)
            {
                if (this.data[i].gender == "girl")
                {
                    girl.data[b] = this.data[i];
                    girl.length++;
                }
            }
            return girl;
        }
    }
}
```

3.

EXPERIMENTOS REALIZADOS

O empreendimento adotado para rodar os experimentos foi uma edificação implantada nas dependências da Escola “Orlando Laviero Ferraiuolo” do SENAI-SP (Figura 11), localizada na zona leste do município de São Paulo.

Trata-se de uma edificação térrea, concebida como uma residência unifamiliar com 42m² de área construída, e utilizada atualmente como laboratório para as aulas práticas do curso de sistemas de energia solar fotovoltaica promovido por esta instituição.

O sistema a ser desenvolvido dependeria de um módulo IoT para enviar periodicamente as medições dos sensores; do modelo BIM do local; e, de um conjunto de programas que permitissem integrar ambientes, sensores e modelo digital numa interface na web. A disponibilidade de energia elétrica e acesso WiFi para os dispositivos comuns neste tipo de aplicação simplificam a concepção do sistema.

Para o experimento realizado, em termos da prática do BIM e do desenvolvimento do modelo digital da edificação, como já era uma construção existente, o modelo BIM foi criado a partir de levantamento as-built realizado com equipamento de escanea-

mento a laser, seguido de modelagem em ferramenta de autoria BIM sobre a nuvem de pontos gerado pelo escaneamento. Além disso, foi padronizada a forma de caracterização de ambientes e dos sensores que são parte do sistema IoT e que foram instalados na edificação.

Com relação ao sistema de IoT, foram escolhidos quatro sensores diferentes e colocados três pontos (ambientes dotados de dispositivos com os quatro sensores) na edificação, e criado um fluxo de dados para que os sensores pudessem, em última instância, armazenar as séries temporais num banco de dados na nuvem. Por fim, a solução desenvolvida cria uma comunicação em tempo real com o banco de dados IoT para que seja possível monitorar remotamente e caracterizar cada um dos ambientes da edificação. A interface permite uma navegação e visualização dos dados a partir do próprio modelo BIM, que também é “baixado” de seu local de armazenamento para dentro da solução.

Para fins de funcionalidade, foi implementado um conjunto de valores ou intervalos admissíveis para cada tipo de sensor e avisos são disparados pelo sistema nos momentos em que esses valores são ultrapassados. Atentar para o fato de que o

sistema desenvolvido não se conectava a nenhum BMS, ou sistema predial do local. Com os mesmos dados coletados no experimento, também foram realizados testes com soluções análogas das empresas de software parceiras.

Figura 11 – Vista externa e interna da edificação adotada no projeto-piloto



3.1

Módulo Internet das Coisas (IoT)

3.1.1

Infraestrutura e Soluções Adotadas

Apesar de ser possível comprar computadores e servidores próprios e desenvolver software para cada parte do processamento necessário, a realidade do mercado hoje consiste no uso do poder computacional de provedores que oferecem serviço na



nuvem, bem como uso de diferentes aplicações, muitas abertas, que combinadas a um desenvolvimento menor, mas mais focado, específico, da parte de software, permite a criação de um sistema adequado para o protótipo usado nos experimentos.

A implementação do sistema concebido consiste das escolhas de serviços de Computação em Nuvem e suas configurações, da programação e configuração de software rodando dentro dos dispositivos e no gateway, bem como programação para desenvolvimento de software como prova de conceito.

É importante destacar que, provavelmente, no setor da Construção não há uma necessidade em termos de desempenho que deva ser considerada na escolha da linguagem de programação a ser empregada. Para além do nicho específico de algumas linguagens, poder-se-ia considerar que linguagens como C executariam um programa mais rapidamente se o desempenho em tempo real fosse exigência. Mas o que norteia a escolha neste caso, está

inteiramente relacionada à disponibilidade de bibliotecas abertas, ou funcionalidades, e a compatibilidade com serviços, APIs e programas de autoria BIM existentes.

Na maior parte do desenvolvimento de códigos de programação (Tabela 1), optou-se pela linguagem Python. Em alguns momentos, foi necessário também o uso de Javascript. E em grande parte de todo desenvolvimento e teste, mais de uma alternativa foi avaliada.

Tabela 1 - Os diferentes elementos da solução proposta

IMPLEMENTAÇÃO	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	DESENVOLVIMENTO OU USO (CONFIGURAÇÃO)
2.3 Cliente MQTT (Envio)	C / IDE Arduino, MQTT	Desenvolvimento
2.4 Broker MQTT	-	Uso: Pub/Sub GCP
2.5 Cliente MQTT (Leitura)	Python / mongoengine	Desenvolvimento Uso: Cloud Function
2.6 Armazenamento Séries temporais	-	Uso: MongoDB Atlas
2.8 Armazenamento modelos BIM	-	Uso: BIMserver (GitHub)
2.9 Adequação - modelos BIM	Python / IfcOpenShell	Desenvolvimento
2.7 API Conexão Dinâmica	Python / Flask, Bokeh	Desenvolvimento
2.10 Registro Ambientes-Dispositivos-Modelo BIM	Python - Flask módulo mongoengine	Desenvolvimento
2.11 BMS IoT	Python - Flask - módulo influx API BIMserver	Desenvolvimento

3.1.2

Dispositivos e Sensores

Para esta aplicação a escolha do dispositivo não é crítica, já que diversos dispositivos atendem às condições necessárias para o experimento. A partir da consideração das restrições acima, buscou-se dispositivos que possuísem sensores para caracterizar o ambiente, e que fossem bastante compactos.

Considerou-se a disponibilidade de energia elétrica (desenvolvimento e testes foram realizados para depender apenas da bateria, mas o experimento mostrou-se mais interessante em rodar por meses) e internet sem fio via WiFi. Escolheu-se, então, empregar o **M5StickC**, da M5Stack (Figura 12).

Figura 12 - Dispositivo M5StickC da M5Stack adotado para o experimento



SISTEMA	ESP32 240MHz dual core – Flash: 4 MB; RAM: 520 KB; 600 DMIPS
Dimensões e peso	Tamanho do dispositivo: 48,2 x 25,5 x 13,7 mm Peso do dispositivo: 15,1g
Comunicação	Wi-Fi, dual mode Bluetooth
Alimentação	5V @ 500mA

Os tipos de sensores que foram escolhidos para a tarefa foram os de temperatura, pressão atmosférica, umidade do ar e luminosidade. Testou-se também um relé inteligente, associado a uma lâmpada.

Figura 13 - Sensores acoplados ao dispositivo.



- Temperatura;
- Pressão;
- Umidade;

- Luminosidade;

3.2

Desenvolvimento do Modelo BIM



Como base para o desenvolvimento do modelo de integração BIM-IoT foram utilizados, como referência, dois modelos BIM desenvolvido internamente pelos educadores do SENAI SP (Figura 14). Cabe ressaltar que tais modelos retratavam as

condições previstas em projeto e foram desenvolvidos para propósitos específicos, um para o projeto arquitetônico (Figura 14a) e o outro para estudos de modulação de alvenaria de blocos de concreto estrutural (Figura 14b).

Figura 14 - Modelos BIM desenvolvidos pelo SENAI-SP



a) Modelo BIM arquitetônico



b) Modelo BIM para alvenaria de blocos de concreto

Assim, foram realizadas as seguintes ações para adequar o modelo BIM para a posterior integração de dados IoT:

1. Atualizar o modelo à situação “como construída”;
2. Incluir os objetos virtuais que representam os sensores utilizados no experimento;
3. Adequar a estrutura espacial do modelo à classificação e a nomenclatura dos objetos para a exportação do modelo BIM ao padrão IFC.

Para a atualização do modelo optou-se por realizar o levantamento da edificação por meio da tecnologia de escaneamento a

laser para a captura das condições existentes, sendo a nuvem de pontos obtida neste levantamento utilizada como base para a atualização do modelo BIM (Figura 15).

Figura 15 - Atualização do modelo BIM com base na nuvem de pontos



A Figura 16, Figura 17 e a Tabela 2 apresentam, respectivamente, a localização dos dispositivos IoT, a divisão espacial da edificação e a relação dos dispositivos IoT previstos para o sensoriamento das condições de conforto térmico e lumínico dos ambientes selecionados.

Figura 16 - Vista do Modelo BIM com sensores exportado ao padrão IFC

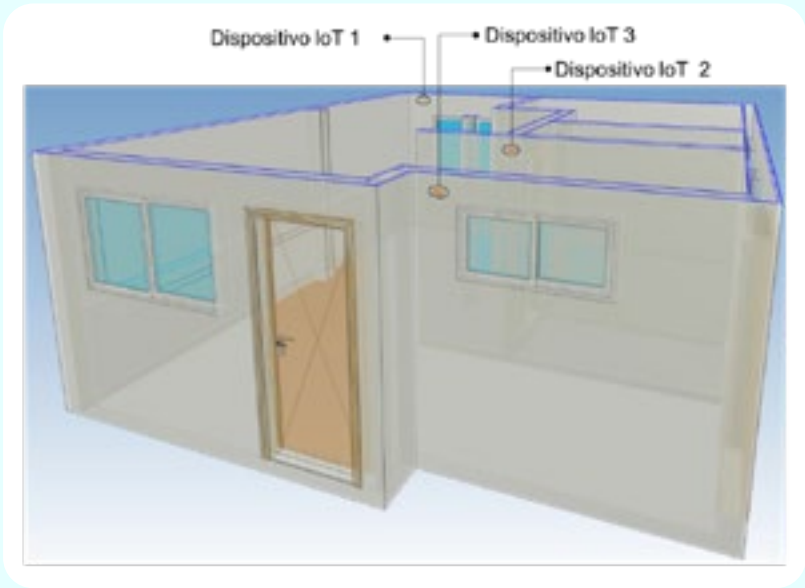


Figura 17 - Localização dos dispositivos IoT e sensores por ambiente

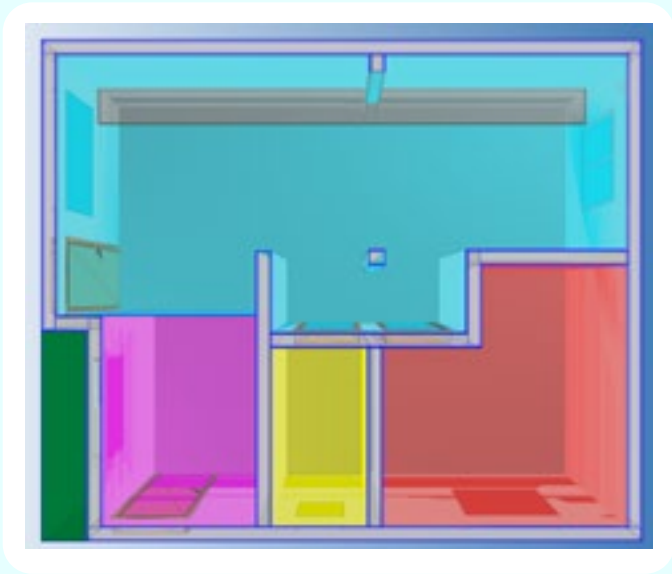


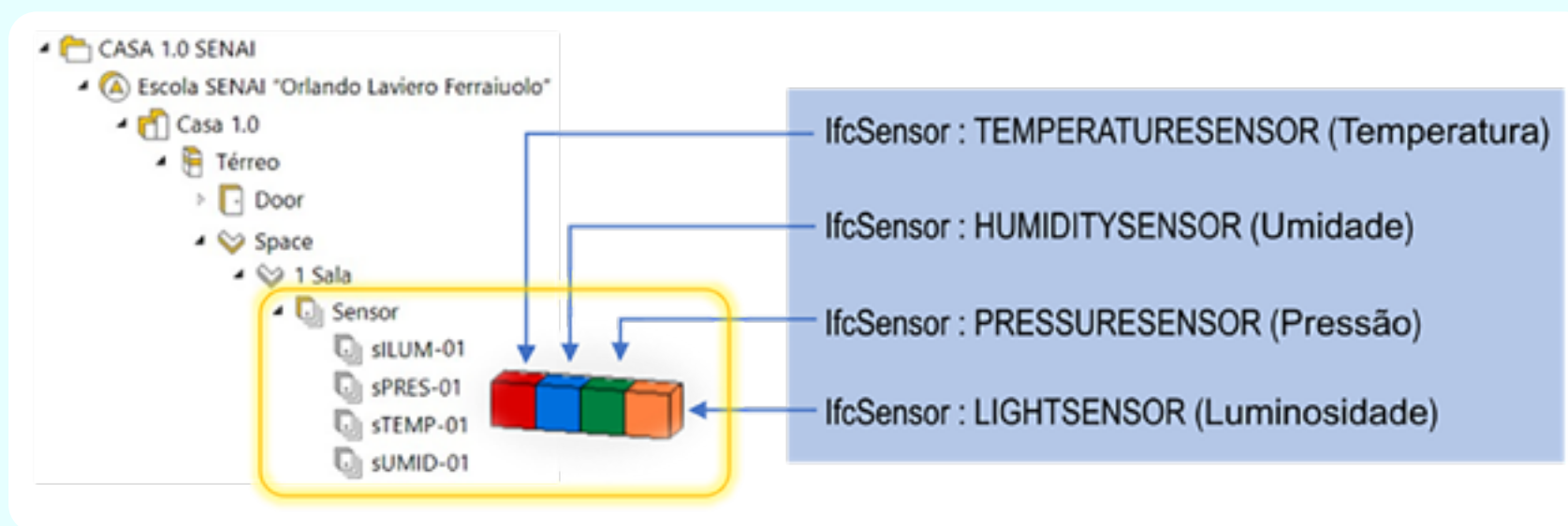
Tabela 2 - Ambientes do local do experimento.

	Ambiente	Dispositivo IoT	Sensores	Local
	Sala 1	Dispositivo 1	temperatura, umidade, pressão, luminosidade	Interno
	Sala 2	Dispositivo 2	temperatura, umidade, pressão, luminosidade	Interno
	Sala 3	-	-	Interno
	Depósito	-	-	Interno
	Varanda	Dispositivo 3	temperatura, umidade, pressão	Externo

Para a identificação dos sensores foi adotado um código composto pelos quatro primeiros caracteres do tipo de sensor precedido pela letra “s”, e seguido pelo número atribuído ao sensor. A padronização desta nomenclatura visa permitir que os usuários do modelo BIM possam inferir qual o tipo e o local do sensor a partir do nome efetivamente “visível” na estrutura apresentada pela maioria dos visualizadores de modelos BIM (atributo **Name**).

Além da classificação básica fornecida pela entidade **IfcSensor**, os sensores foram classificados de acordo com o subtipo correspondente, conforme apresentado na Figura 18. Este segundo nível de classificação definido pelo atributo **PredefinedType** permite o uso dos conjuntos de propriedades oficiais previstos pelo esquema IFC para cada tipo de sensor, sobretudo para especificar qual a faixa de operação do sensor.

Figura 18 – Classificação dos sensores quanto ao subtipo predefinido pelo IFC



3.3

Registro IoT - BIM

Dada a natureza “estática” desta aplicação, ou seja, do fato de que os ambientes existentes não se alteram (num curto período) nem a quantidade e local de instalação dos sensores, a criação do registro entre os dispositivos / sensores e o modelo BIM é simplificada por um lado. O que permite focar para a gestão da informação quanto ao modo como ela é registrada dentro do modelo e quanto ao uso que se faz desta informação e modelo.



Na implementação, há três ambientes e três dispositivos distintos: os termos 'Interno', 'Externo' e 'Auxiliar' são usados em diferentes contextos para fazer a diferenciação. Tanto os sensores quanto os ambientes (IfcSpace) onde estão inseridos podem ser identificados pelo globalId (Figura 19).

Para os testes iniciais do sistema, o vínculo IoT - BIM foi colocado diretamente no código do programa, e associa a escolha do ambiente, ao identificador do ambiente em cada mensagem dos dispositivos na base de dados.

Figura 19 - Excerto de um arquivo IFC com as entidades representando os sensores

```
#11315= IFCSENSOR('3Prhct_zzBLwbakNdQRh9g',#49,'sTEMP-01','Interno','Sensor
TEMP:Interno',#11314,#11304,'435096',.TEMPERATURESENSOR.);

#11366= IFCSENSOR('3Prhct_zzBLwbakNdQRh9h',#49,'sUMID-01','Interno','Sensor
UMID:Padr\X2\00E3\X0\o',#11365,#11355,'435097',.HUMIDITYSENSOR.);

#11408= IFCSENSOR('3Prhct_zzBLwbakNdQRh9e',#49,'sPRES-01','Interno','Sensor
PRES:Padr\X2\00E3\X0\o',#11407,#11397,'435098',.PRESSURESENSOR.);

#11481= IFCSENSOR('3Prhct_zzBLwbakNdQRh9J',#49,'sILUM-01','Interno','Sensor
ILUM:Padr\X2\00E3\X0\o',#11480,#11470,'435105',.LIGHTSENSOR.);
```

4.

IMPLEMENTAÇÃO

A velocidade de desenvolvimento do mercado de hardware para a tecnologia de IoT e de software em geral, e particularmente para os serviços de computação em nuvem é tão grande que no escopo de um ano e meio entre planejamento, desenvolvimento e operação da solução, incluindo também a redação do presente documento:

- parte dos hardwares testados já não mais existem, tendo sido substituídos por versões atualizadas;
- parte da solução precisou ser atualizada por causa de novas versões dos serviços de nuvem existentes ou módulos usados nas soluções.

Em termos de implementação, ressalte-se que, durante o experimento realizado, houve a participação de dois fabricantes de software, ACCA e Autodesk, que se interessaram pelo desenvolvimento de implementações alternativas desta concepção de integração IoT – BIM. Portanto, segue um breve relato das variações em termos de implementação.



4.1

BMS IoT

Aqui, trata-se da combinação ou integração da visualização do modelo BIM e da associação de ambientes definidos no modelo (com a inclusão do modelo digital dos sensores e suas localizações) com os dados dos sensores reais e a exibição em gráficos.

A parte de visualização e interação com o modelo BIM no formato IFC é a parte principal da funcionalidade do software – já que os dados dos sensores já estão resolvidos e a visualização e interação com estes dados são realizadas a partir da API de Conexão Dinâmica.

A solução depende inicialmente de acesso ao BIM server, onde o modelo BIM no formato IFC está armazenado. As credenciais de acesso ao servidor e a identificação do modelo BIM a ser empregado estão programadas diretamente no código, mas pode-se criar uma tela inicial para entrada destes dados.

A partir daí, usou-se os módulos IfcOpenShell e Python-OCC-Core para ler as informações do modelo em IFC baixado do servidor e para criar a estrutura de dados e a interface de visualização e interação no modelo, já inseridas numa página na web com o uso do microframework Flask, e programando-se principalmente em Python (mas também um pouco em Javascript e CSS e HTML).

Com o Python-OCC-Core, tem-se:

- Acesso às classes do OpenCASCADE C++ por meio do Python. O OpenCASCADE é um software de CAD, PLM e BIM, que possui uma versão aberta para desenvolvedores;
- Visualização 3D no navegador de internet usando WebGL.

Figura 20 - A interface gráfica da solução desenvolvida



4.2

Implementação pela ACCA

Mantendo o padrão de ilustração esquemática apresentado na Figura 3, a Figura 21 representa a solução desenvolvida pela ACCA. Os componentes do “ambiente real”, ou seja, as camadas físicas de sensoriamento e de comunicação mantiveram-se as mesmas. O objetivo era fornecer ao software os dados dos sensores instalados para o experimento realizado. É interessante observar que, durante parte do experimento, tanto o programa desenvolvido especificamente para o experimento quanto o da ACCA estavam consumindo os mesmos dados que chegavam à nuvem.



Como apresentado, os dados dos sensores eram enviados para a Google Cloud Platform. A partir daí, na aplicação havia uma função que era disparada toda vez que uma nova mensagem era publicada num tópico específico, uma Cloud Function com o papel de Cliente MQTT para ler e armazenar em definitivo os dados dos sensores num banco de dados.

Na solução da ACCA, foi fornecida uma **chave de acesso** direto aos dados da nuvem da Google, e foi usado um serviço para capturar os dados e enviar diretamente para a interface de solução. Não ficou claro se ocorre o armazenamento em algum passo intermediário ou posterior.

Portanto, esta solução recebe os dados em tempo real. O serviço Node-RED foi instalado em uma das máquinas da empresa na Itália. O vínculo entre quais dados são referentes a quais ambientes, espaços ou

componentes do modelo BIM são feitos pelo usuário no próprio software desenvolvido.

Usando o protótipo do sistema desenvolvido no experimento foram realizados testes acessando também este mesmo servidor remotamente e operando as plataformas **us-BIM-platform** para carregar o modelo BIM e a **us-BIM-IoT** (Figura 22) com a solução em si, vinculada ao serviço Node-RED.



Figura 21 - Esquema da solução proposta pela empresa ACCA.

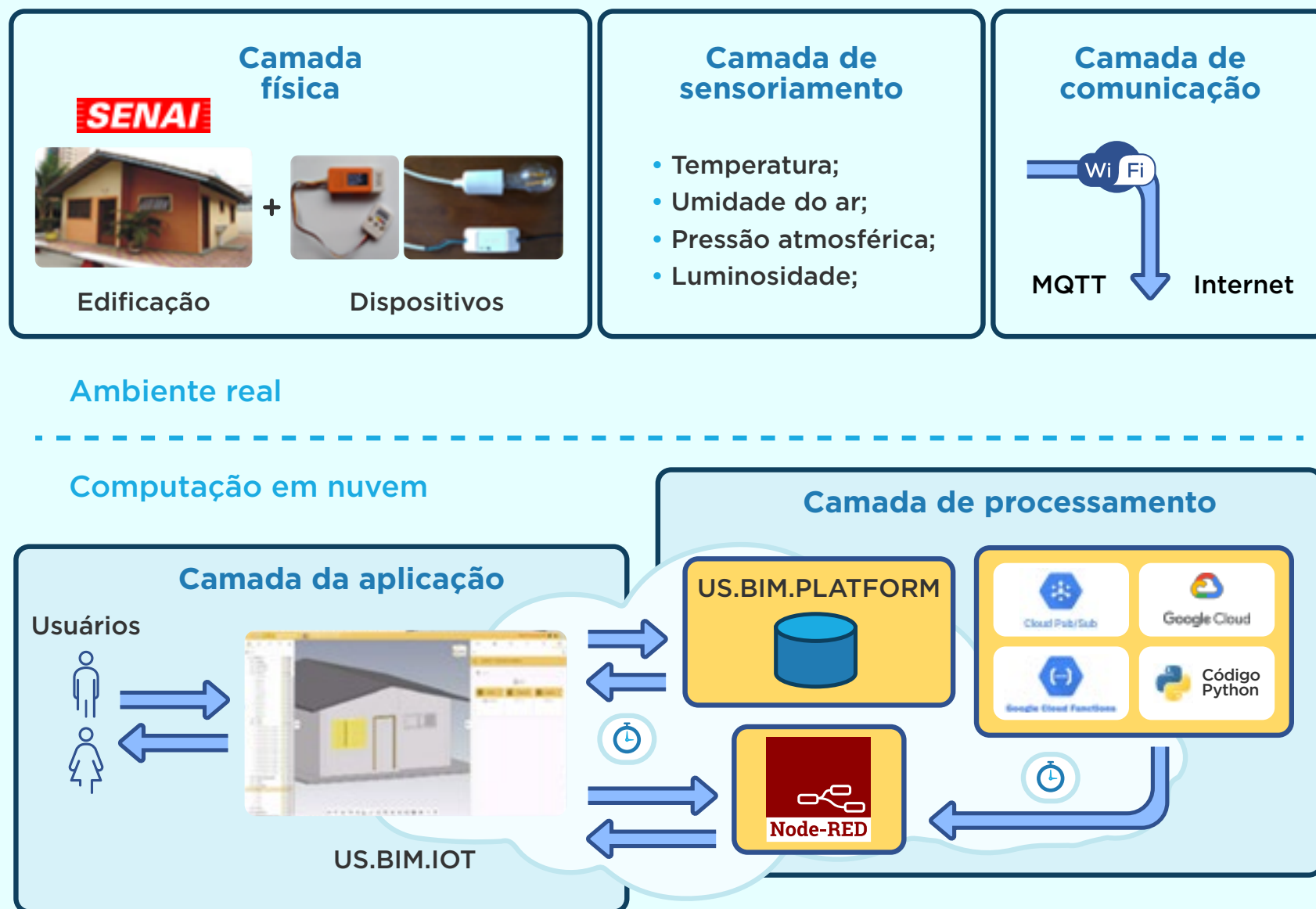
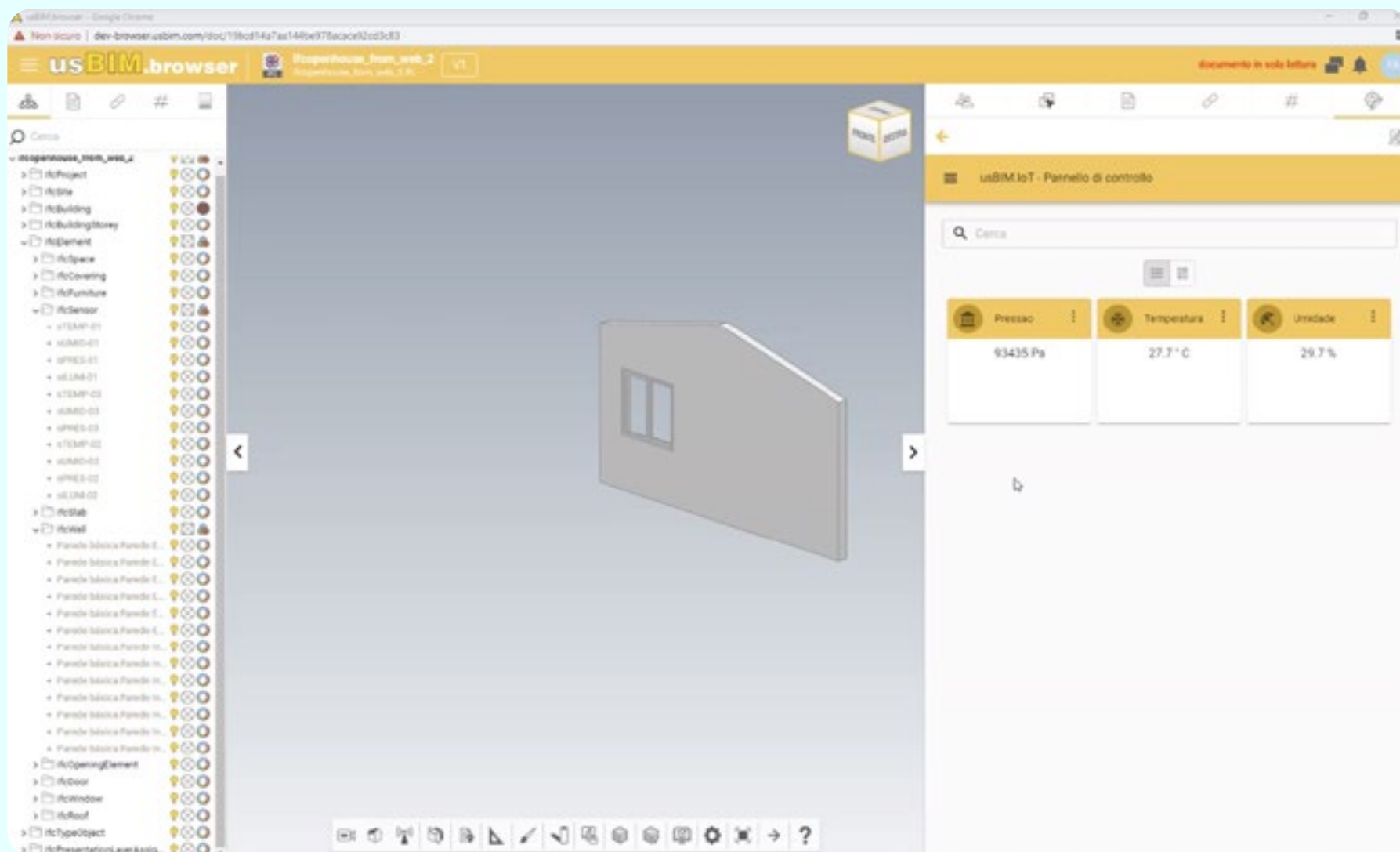


Figura 22 - Interface do programa us-BIM-IoT com o modelo BIM ao centro e o dashboard à direita



4.3

Implementação pela Autodesk

A Figura 23 esquematiza a solução implementada pela Autodesk, num momento em que os sensores já haviam sido retirados do local do experimento. Portanto, os dados de todo o período de testes, que estavam armazenados num banco de dados, foram exportados e fornecidos num arquivo do tipo CSV.

Usando a plataforma Forge e suas APIs, é possível carregar e renderizar o modelo BIM no formato IFC na nuvem. Para tanto, foram utilizadas a API Viewer e sua extensão Data Visualization, bem como a API Model Derivative - que habilita a conversão entre formatos na nuvem. A solução permite a leitura dos dados dos sensores armazenados no arquivo CSV, e a correlação destes aos "rooms" ou ambientes e propriedades do modelo BIM por meio de programação. Há um modo no qual é possível "dar um replay" na entrada dos dados em tempo real por meio da interface Web, ou visualizá-los em dias ou horários específicos. A arquitetura de referência

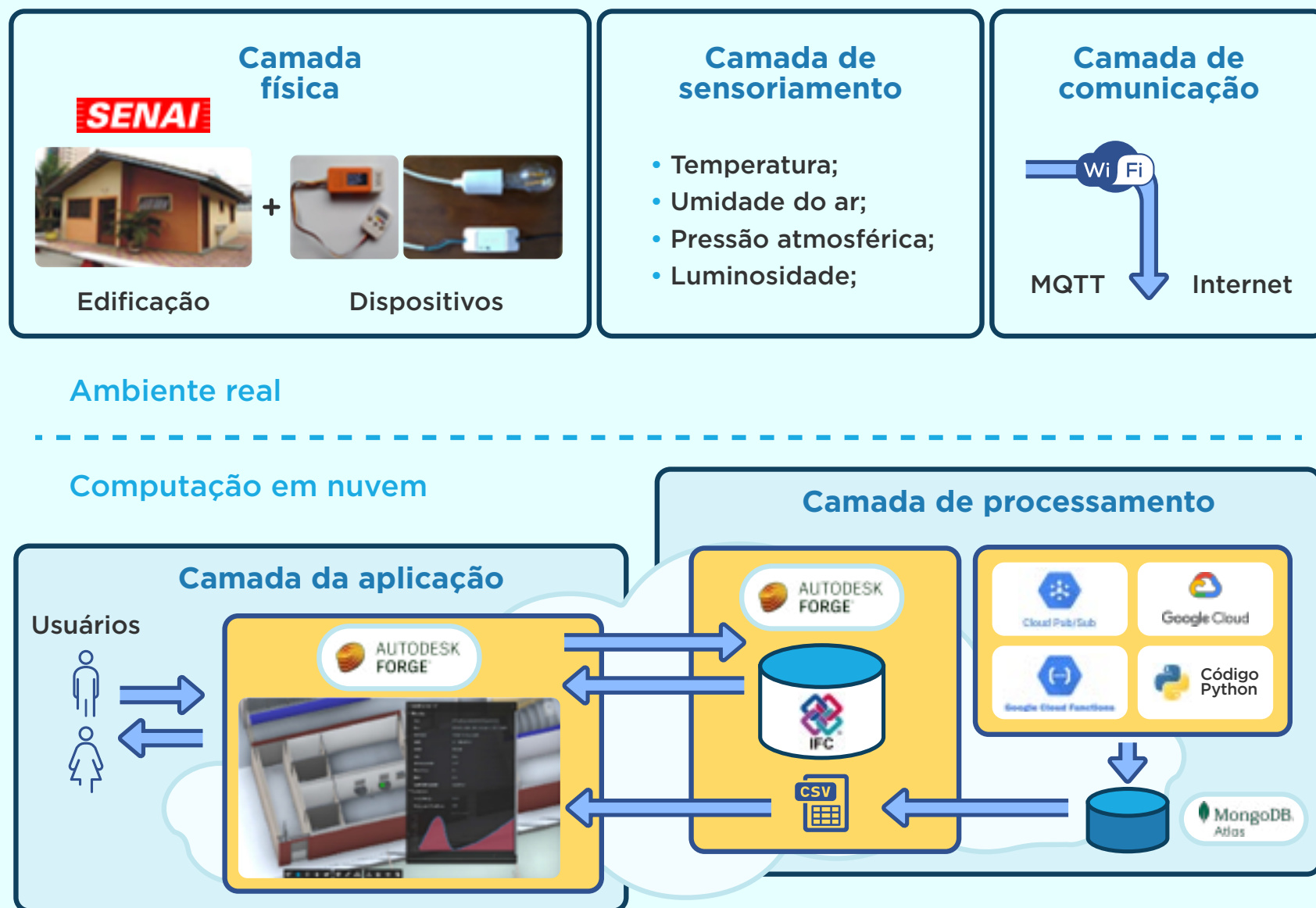
utilizada nesta implementação piloto está disponível no GitHub⁸ para consulta, e seu desenvolvimento foi baseado no projeto Hyperion (hyperion.autodesk.io).

O diagrama da documentação⁹ consultada, e outros exemplos existentes no Forge, apontam possibilidades de conexão direta com a nuvem, como no caso da nuvem da Microsoft, a Azure. Ou seja, o ecossistema do Forge possui todos os componentes necessários para implementar esta e outras soluções - por consistir em uma plataforma de APIs que habilita usuários e desenvolvedores a criar diversas aplicações mediante assinatura do serviço.

⁸ <https://github.com/JoaoMartins-callmeJohn/aps-iot-extensions-demo>

⁹ https://aps.autodesk.com/en/docs/dataviz/v1/developers_guide/overview/

Figura 23 - Esquema da solução proposta pela empresa Autodesk.



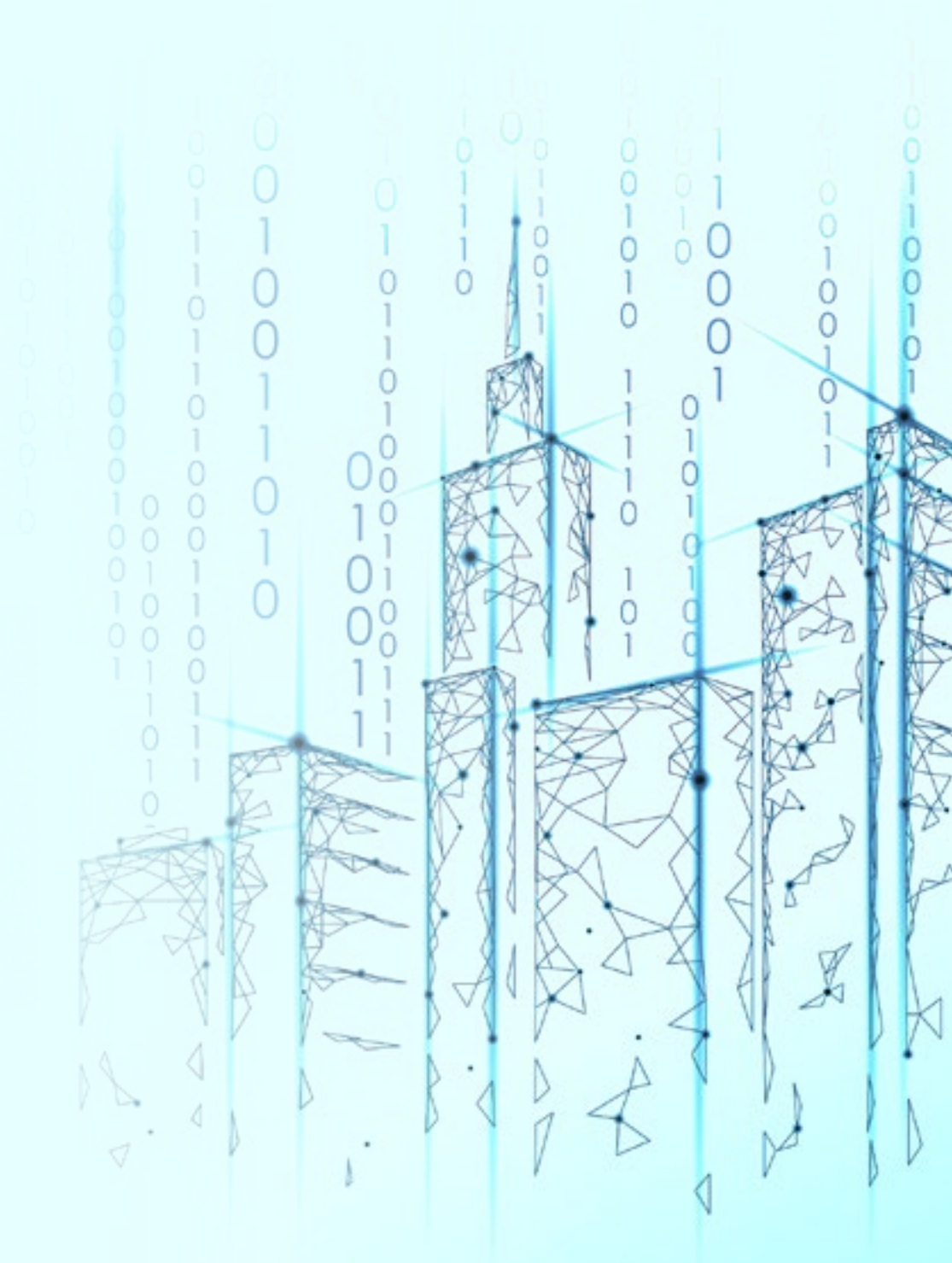


5.

SOBRE A INTEGRAÇÃO BMS, BIM E IOT

O desenvolvimento dos Sistemas de Gestão da Edificação (Building Management Systems - BMS) sempre tiveram foco na automação e não na otimização - são programas que disparam alertas quando um dos sistemas da edificação passa a operar fora de uma faixa pré-configurada, ou são configurados para acionar ou desligar os sistemas num determinado período do dia. Não existe um incentivo para os atuais operadores destes programas contornarem as dificuldades e analisarem os padrões de uso da edificação que estão registrados nos dados armazenados nos bancos de dados - nem o BMS é a ferramenta apropriada para isso.

Portanto a operação de um BMS integrado às tecnologias de IoT e Computação em Nuvem, bem como à modelos BIM, necessita de um gestor comprometido em analisar e investigar alternativas de uso dos sistemas prediais com o intuito de economizar energia e melhorar o conforto dos usuários da edificação. Com o acréscimo de algoritmos de Inteligência Artificial ou com a implementação de um Gêmeo Digital, parte das análises e investigações poderiam estar a cargo do computador, cabendo ao gestor apenas escolher um dentro dos cenários propostos pela máquina.





6.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento controlado em ambiente real executado demonstra uma das muitas formas de ampliar o atual uso da prática do BIM com as tecnologias de Internet das Coisas e computação em nuvem, ambas associadas ao paradigma da Indústria 4.0. Demonstrou-se a maturidade das tecnologias existentes, as possibilidades de integração com os programas de autoria e modelos BIM e que este tipo de solução consiste num caminho de desenvolvimento viável para fomentar ganhos de competitividade e produtividade no setor da Construção Civil.

O foco do experimento foi a gestão de ativos, na operação de uma edificação. O sistema desenvolvido permite uma gestão predial diferenciada, tendo à disposição não apenas as informações estáticas registradas em um modelo BIM, mas também toda a dinâmicas das condições de conforto. Por meio de sistema do tipo demonstrado, seria possível analisar melhor a influência de um aspecto do ambiente e, assim, operar de maneira otimizada os sistemas prediais de uma edificação. O valor gerado por esta integração amplia os benefícios da prática do BIM ao gerar informações novas e complementares automaticamente, em quantidade, velocidade e diversidade que podem ser personalizadas para praticamente todo tipo de uso.

Se por um lado não há grandes barreiras tecnológicas a serem vencidas para termos aplicações BIM integradas com outras tec-

nologias da Indústria 4.0, que amplificam o valor das soluções desenvolvidas, por outro a operação de um sistema como esta demanda uma evolução da prática e um amadurecimento dos profissionais envolvidos, bem como de adequações do novo sistema aos sistemas já existentes.

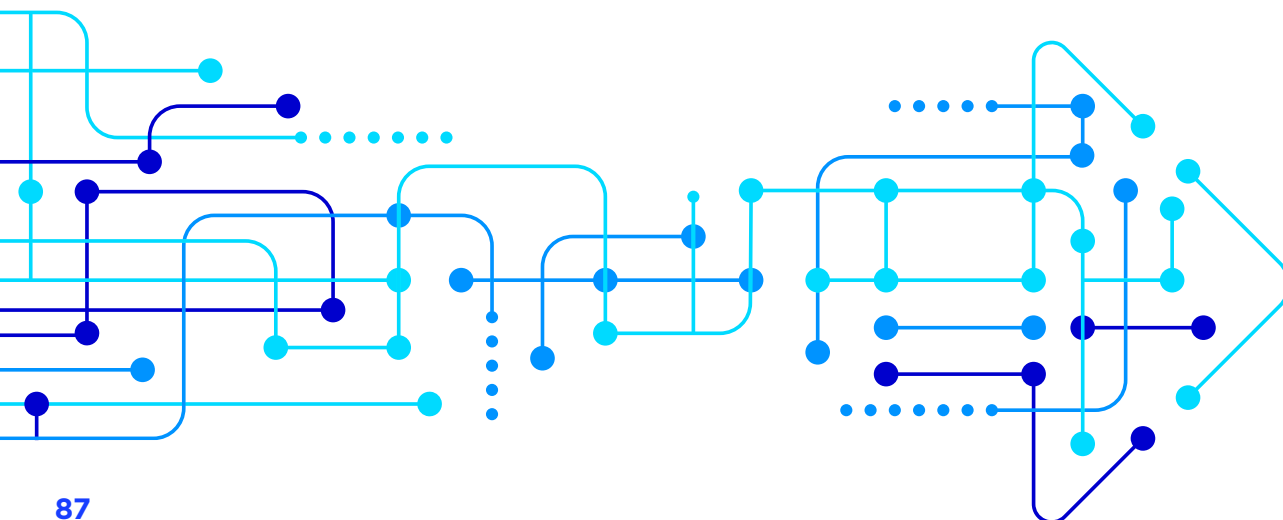
Fica evidente, portanto, que a incorporação de novas práticas de gestão baseadas em tecnologias computacionais e digitais, ainda levará um tempo considerável para se tornar a norma no mercado, pois necessita tanto de um processo contínuo de inovação dentro das empresas do setor, do desenvolvimento de um mercado de serviços de tecnologia para monitoramento e análise, bem como de capacitação dos profissionais envolvidos.

O futuro mostra-se promissor para:

- Desenvolvimento de novos produtos e serviços baseados na integração de tecnologias da Indústria 4.0 com a prática e com modelos BIM: enquanto aplicações já vêm sendo demonstradas, há muitas outras direções a serem exploradas demandando recursos para pesquisa e desenvolvimento;

- Surgimento de mais startups e construtechs com foco no emprego das tecnologias da Indústria 4.0 para a Construção Civil: há demanda para o desenvolvimento de hardware, software e serviços de monitoramento e análise de dados específicos para o setor;

- Surgimento de empresas de consultoria especializadas para fazer a intermediação entre as diferentes soluções computacionais e digitais existentes e os problemas existentes nas mais diversas fases do ciclo de vida da edificação: há uma lacuna em termos de conhecimento e cultura entre profissionais do setor da Construção Civil e profissionais que desenvolvem produtos com base nas novas tecnologias da Indústria 4.0 – alguém precisa preencher este vácuo, estando aí uma oportunidade para a formação de novos profissionais.





EXECUÇÃO



MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO,
INDÚSTRIA,
COMÉRCIO E
SERVIÇOS

