UNIOESTE UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Desenvolvimento de um sistema multiusuário para edifícios inteligentes

Victor Hugo de Almeida Alicino

FOZ DO IGUAÇU
2024

Victor Hugo de Almeida Alicino

Desenvolvimento de um sistema multiusuário para edifícios inteligentes

Monografia submetida à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Curso de Ciência da Computação Campus de Foz do Iguaçu, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Dr. Antonio Marcos Massao Hachisuca

FOZ DO IGUAÇU

2024

Victor Hugo de Almeida Alicino

Desenvolvimento de um sistema multiusuário para edifícios inteligentes

---

Dr. Antonio Marcos Massao Hachisuca
Orientador(a)

Titulação Nome 1º membro da banca
Membro

Titulação Nome 2º membro da banca
Membro

Sumário

1 Introdução

As cidades inteligentes visam melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e promover um desenvolvimento econômico e social sustentável por meio do uso de tecnologias da informação e comunicação (TIC) [MACAYA et al., 2017]. Nesse contexto, os edifícios inteligentes desempenham um papel fundamental. Indivíduos passam grande parte da sua vida dentro de edifícios, crescem, estudam e se desenvolvem neles [PAIVA; JEDON, 2019] [MEYER, 2022]. Dada sua importância no cotidiano urbano, a modernização dos edifícios torna-se essencial para a implementação do conceito de cidades inteligentes. Assim, a integração de novas tecnologias pode otimizar a experiência dos ocupantes e contribuir para a sustentabilidade dessas construções.

Para que um edifício seja classificado como inteligente, é necessária a incorporação de dispositivos capazes de monitorar e controlar o ambiente. Esses dispositivos incluem sensores, responsáveis por captar os dados do ambiente em que se encontram; atuadores que realizam as ações físicas baseadas nas entradas que recebem; e controladores que coordenam a comunicação entre sensores e atuadores para garantir uma automação eficiente [MORVAJ; LUGARIC; KRAJCAR, 2011]. A implementação desses componentes possibilita desde o gerenciamento de iluminação e climatização até sistemas avançados de segurança e eficiência energética.

Nos últimos anos, dispositivos com essas características têm se tornado cada vez mais populares no meio da Internet das Coisas (do inglês, IoT). Com a significativa redução de custo dos sensores nas últimas duas décadas [MICROSOFT, 2019], dispositivos IoT destinados a Casas Inteligentes ganharam ampla aceitação no mercado, devido ao seu custo acessível e facilidade na instalação, com isso, estima-se que ao final da década de 2020, dos mais de 30 bilhões de dispositivos IoT conectados no mundo, 60% serão de consumidores finais[STATISTA, 2023].

Diante da crescente adoção de dispositivos IoT em Casas Inteligentes, surge a questão de por que esses dispositivos ainda não são amplamente utilizados em edifícios coletivos, como escritórios e coworking, para torná-los inteligentes. Os sistemas de automação tradicionais, projetados para grandes edifícios, costumam ser caros e complexos, enquanto os dispositivos IoT voltados ao consumidor final são acessíveis e fáceis de instalar. No entanto, esses dispositivos foram concebidos para um uso individual ou residencial, assumindo que os ocupantes do espaço são previamente conhecidos. Em edifícios coletivos, essa abordagem se torna inviável, pois a rotatividade de usuários exige um modelo flexível e adaptável de controle e segurança. Assim, há um desafio técnico e econômico a ser superado para que dispositivos IoT de Casas Inteligentes possam ser utilizados nesses

ambientes de forma segura e eficiente.

Apesar dessa ampla adoção no mercado residencial, a aplicação desses dispositivos em edifícios coletivos ainda enfrenta desafios específicos. Considerando que dispositivos IoT de Casas Inteligentes são mais acessíveis e fáceis de implementar que sistemas tradicionais de automação predial, mas não são viáveis em edifícios coletivos devido à necessidade de múltiplos usuários compartilharem o mesmo ambiente, como é possível adaptá-los para o uso em edifícios coletivos, garantindo controle adequado para múltiplos ocupantes?

Dado que dispositivos IoT de Casas Inteligentes são mais acessíveis e fáceis de implementar do que os sistemas tradicionais de automação predial, como é possível adaptá-los para o uso em edifícios coletivos, garantindo segurança e controle adequado para múltiplos ocupantes?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa desenvolver um sistema básico que demonstre a viabilidade de múltiplos usuários operarem simultaneamente um sistema de edifício inteligente.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo do trabalho, é proposto uma aplicação simplificada que permita entender a viabilidade do uso de um sistema de edifício inteligente por diversos usuários, focando no controle das unidades de climatização.

Dentre os principais objetivos específicos destacam-se:

- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre edifícios inteligentes e suas demandas;
- Estudar sobre as aplicações da internet das coisas em um edifício inteligente;
- Definir requisitos para um sistema de gerenciamento de um edifício inteligente;
- Propor e implementar um sistema de gerenciamento para edifícios inteligentes;

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado com a seguinte estrutura:

Capítulo 2: Revisão Bibliográfica, onde são apresentados...

Capítulo 3: Arquitetura do Sistema....

Capítulo 4: Dispositivo IoT...

Capítulo 5: Servidor Local...

Capítulo 6: Servidor Remoto...

Capítulo 7: Interface de Usuário...

Capítulo 8: Conclusão...

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Edifício Inteligente

O conceito de edifícios com algum tipo de autonomia humana é chamado de edifício inteligente, esse conceito surge nos Estados Unidos em meados da década de 80 junto com os sistemas de automação de segurança e iluminação para edifícios [NEVES; CAMARGO, 2002]. Esses edifícios chamados de edifícios inteligentes têm se tornado populares nos últimos anos, mas os limites e requisitos do que um edifício precisa ter para ser considerado inteligente é algo nebuloso. O conceito de edifício inteligente em português origina de dois conceitos pouco distintos na língua inglesa, *Intelligent Buildings* e *Smart Buildings*, "Intelligent" segundo o *Oxford Learner's Dictionaries* é aquele que é bom de aprendizado [INTELLIGENT, 2023], enquanto "Smart" é aquele que é inteligente [SMART, 2023], o significado de ambas as palavras não diferem muito entre si, assim como os conceitos de *Intelligent Buildings* e *Smart Buildings*, ambos carregam as mesmas primícias, de um edifício com algum nível de automação, minimizando a interação humana [WONG; LI; WANG, 2005].

2.1.1 Intelligent Building

Intelligent Buildings vem sendo pesquisados e desenvolvidos há pelo menos três décadas [BUCKMAN; MAYFIELD; BECK, 2014] e existem no mínimo 30 definições diferentes para esse conceito [WIGGINTON; HARRIS, 2002], em 1990, Powell traz uma definição de edifício inteligente (Intelligent Building) comentando o que Stubbings diz em 1988,

> At present the term 'intelligent building' is normally taken to mean 'a building which totally controls its own environment' [STUBBINGS, 1986]. This seems to imply that it is the technical control of heating and air conditioning, lighting, security, fire protection, telecommunication and data services, lifts and other similar building operations that is important a control typically given over to a management computer system. Such a definition for a conventionally intelligent building does not suggest user interaction at all. [POWELL, 1990]

Stubbings diz que um edifício inteligente é aquele edifício capaz de controlar seu próprio ambiente e Powell expande essa ideia, definindo que um edifício inteligente é aquele capaz de controlar seus sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC), iluminação, segurança, combate a incêndio etc. através de um sistema de gerenciamento

de edifício (Building Management System). Clements-Croome em 2009 define um edifício inteligente como aquele que é responsivo aos requisitos dos seus ocupantes, organizações e sociedade, sendo sustentável no consumo de água e energia, gerando pouca poluição e sendo funcional de acordo com as necessidades do usuário [CLEMENTS-CROOME, 2011] e Brooks sugere que *Intelligent Building* e seu sistema de gestão (Building Management System) são essencialmente a mesma coisa [BUCKMAN; MAYFIELD; BECK, 2014], um sistema de controle que abrange todo o edifício, que conecta, controla e monitora a planta fixa e os equipamentos da instalação [BROOKS, 2012].

2.1.2 Smart Building

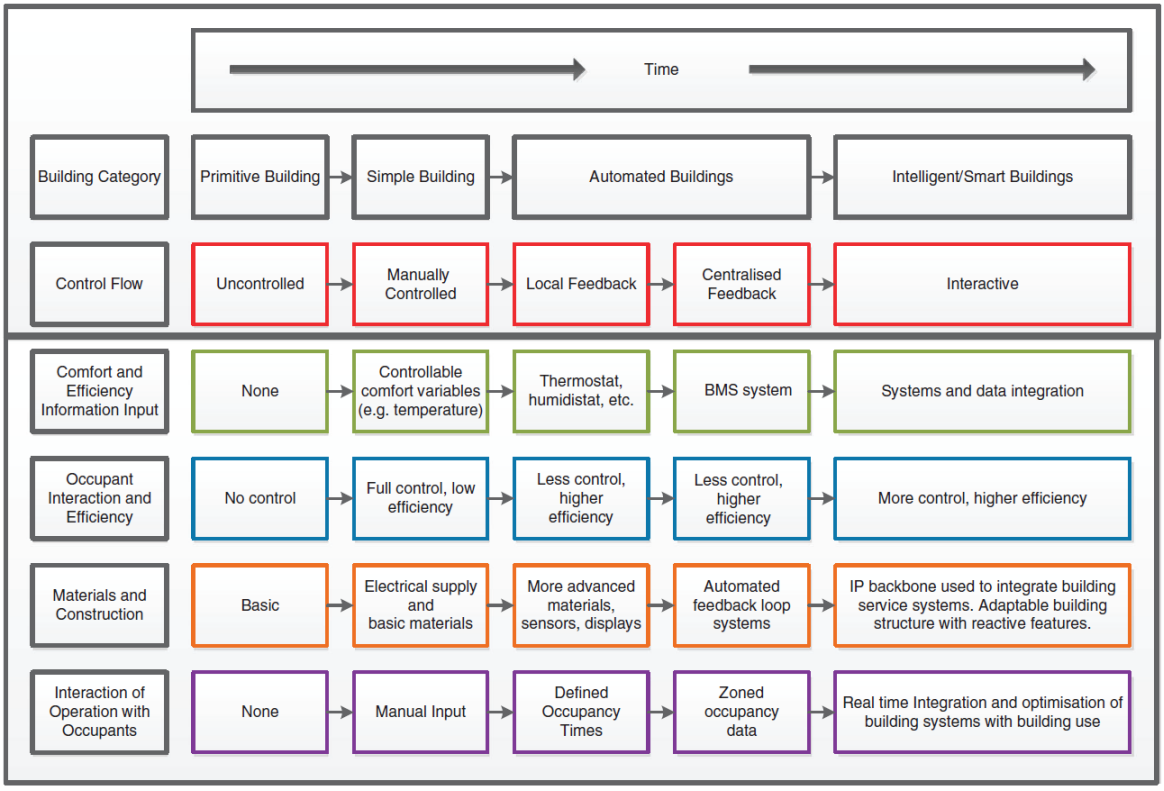


Figura 1 – Progressão da automação em edifícios

Fonte: Buckman, Mayfield e Beck [2014]

Na figura 1, Buckman, Mayfield, Beck mostram uma linha do tempo, partindo de um edifício primitivo com nenhum controle do seu ambiente até um edifício inteligente. Segundo sua pesquisa, sugerem que existem três principais pontos que desenvolvem um edifício até o estado de edifício inteligente, são eles:

1. Longevidade;
2. Energia e Eficiência; e
3. Conforto e Satisfação.

Para atingir o estado de edifício inteligente nos três pontos, existem quatro aspectos que variam o nível do edifício de primitivo a inteligente, são eles:

1. Inteligência, a forma como são coletadas informações das operações do edifício e sua resposta;
2. Controle, a interação entre ocupantes e o edifício;
3. Materiais e Construção, a forma física do edifício; e
4. Empresa, a forma como são coletadas informações e usadas para melhorar a performance dos ocupantes.

A evolução desses métodos em um edifício partindo do primitivo ao inteligente é mostrada na figura 1. De acordo com a pesquisa, Buckman, Mayfield, Beck sugerem que em um *Smart Building*, os quatro aspectos que variam o nível do edifício são desenvolvidos lado a lado, usando a informação de um na operação do outro, diferindo de um *Intelligent Building* que desenvolve a "Inteligência" citada acima de forma independente do outros três aspectos. *Smart Buildings* usam tanto o controle humano, quanto a automação para atingir os quatro aspectos apresentados acima. O aspecto de "Controle", o mais importante para esse trabalho, deve apresentar informações do aspecto de "Inteligência" para os ocupantes do edifício, para que os mesmo possam se adaptar ao edifício assim como o edifício se adapta a eles[BUCKMAN; MAYFIELD; BECK, 2014].

Sensores inteligentes, que podem ser adicionados a qualquer momento da vida de um edifício [KAMAL et al., 2021], frutos da internet das coisas (IoT, do inglês Internet of Things) permitem uma rápida implementação de instalações para edifícios inteligentes, como gerenciamento do sistema de AVAC, sistemas de segurança, monitoramento por câmeras, alertas para eventos como incêndio, vazamento de gás e monitoramento da integridade estrutural do edifício [BELLINI; NESI; PANTALEO, 2022]. A adoção de IoT promove a conectividade entre sensores, dispositivos e sistemas do edifício a nuvem, tal conexão promove o uso de aplicações que usaram os dados coletados [BERKOBEN; KAED; SODORFF, 2020].

2.1.3 Sistema de Gerenciamento de Edifício

Sistemas de Gerenciamento de Edifício, ou Building Management Systems (BMS) em inglês são controladores inteligentes baseados em microprocessadores instalados na rede para monitorar e controlar os aspectos técnicos de um edifício e seus serviços [APPLIED RISK, 2019]. Um BMS pode controlar componentes com protocolos de mais baixo nível, como BACnet, Modbus e etc. [BERKOBEN; KAED; SODORFF, 2020] os subsis-

temas do BMS ligam as funcionalidades individuais desses equipamentos para que eles possam operar como um único sistema [APPLIED RISK, 2019].

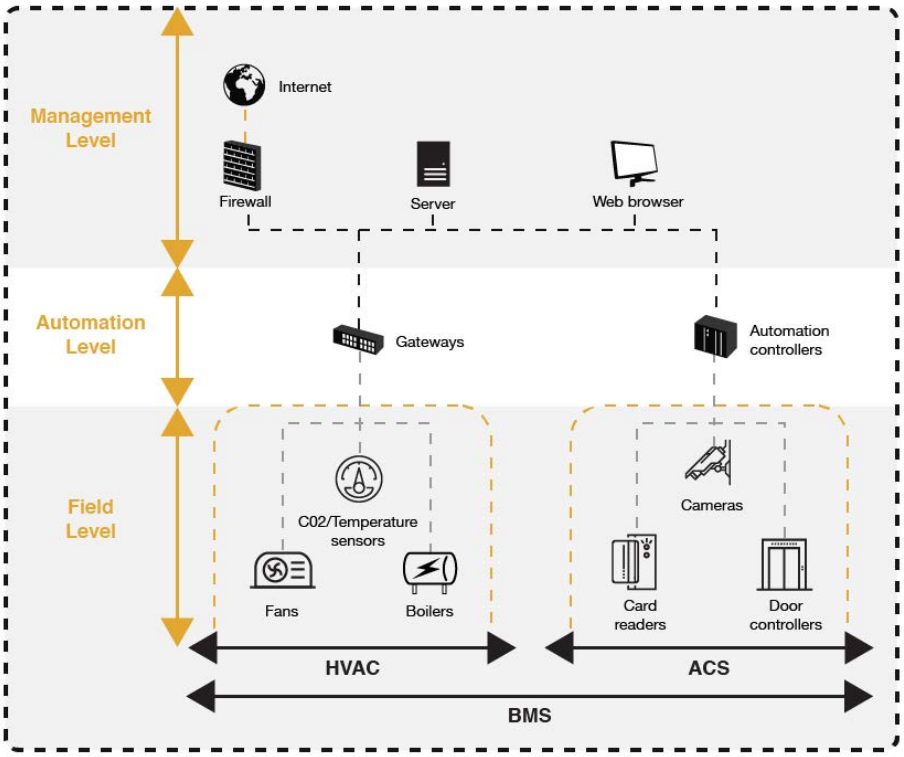


Figura 2 – Relação entre os componentes do BMS e sistemas

Fonte: APPLIED RISK [2019]

A figura 2 mostra um exemplo da relação entre os componentes de um BMS.

2.1.4 Sistema de Controle e Automação de Edifício

Quando um Sistema de Gerenciamento de Edifício passa a satisfazer os requisitos da ISO 16484 [International Organization for Standardization, 2020], tais como suporte a BACnet ele passa a ser um Sistema de Controle e Automação de Edifício (Building Automation Control System, BACS) [European Committee for Standardization, 2006]. Os conceitos de BMS e BACS possuem mais similaridades do que diferenças sendo difícil encontrar na literatura materiais que os diferenciem bem, sendo assim, para este trabalho, Sistemas de Gerenciamento de Edifícios (BMS) e Sistemas de Controle e Automação de Edifícios (BACS) serão considerados sinônimos.

Assim como o Sistema de Gerenciamento de Edifício, o Sistema de Controle e Automação de Edifício também é responsável por controlar e monitorar os aspectos técnicos de um edifício e seus serviços, o BACS também é divido em três camadas, como representado na figura 2, sendo elas:

- Camada de Campo (*Field Layer*);

- Camada de Automação (*Automation Layer*); e
- Cada de Gerenciamento (*Management Layer*).

A camada de campo é a camada mais baixa, sendo nela encontrados os sensores e atuadores que fazem a interação com o ambiente. A camada de automação é onde os dados são processados, loops de controle são executados e alarmes ativados. Por último, a camada de gerenciamento é a responsável por apresentar os dados do sistema, criar logs de acontecimentos e intermediar o controle do usuário com o sistema. Sistemas mais modernos tendem a separar a lógica da interface gráfica para o usuário com o objetivo de criar acessos mais flexíveis aos BACS [DOMINGUES et al., 2016].

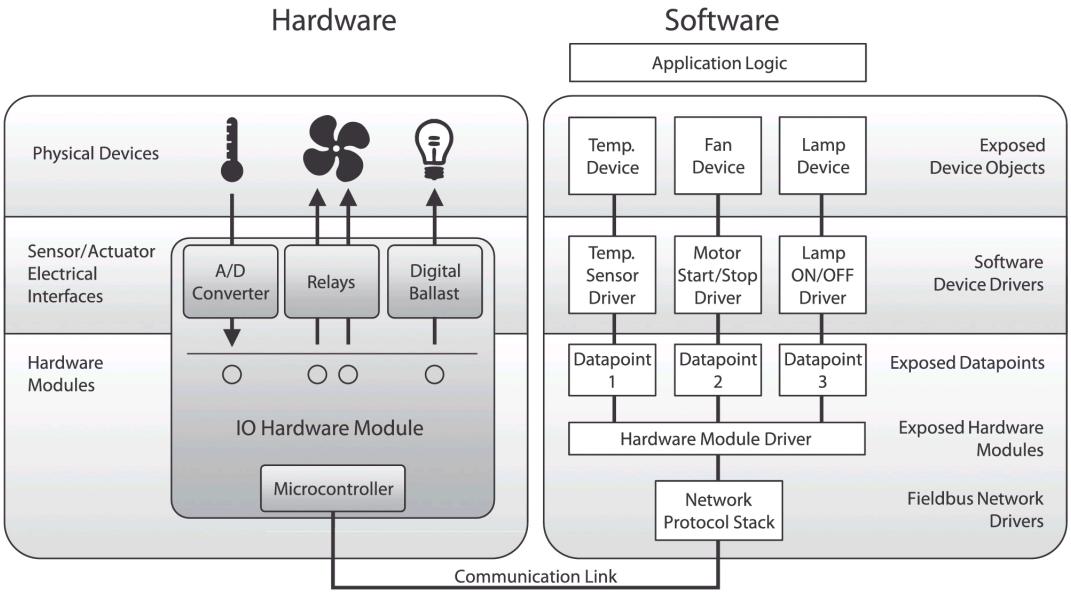


Figura 3 – Pilhas de Hardware e Software envolvidos no Sistema de Controle e Automação de Edifício

Fonte: Domingues et al. [2016]

O caminho da informação em um BACS tem a forma representada pela figura 3, sensores e atuadores interagem com dispositivos físicos através de módulos em hardware, controlados por um microcontrolador responsável por enviar os dados até o BACS através de uma conexão de comunicação (também chamada de barramento de campo ou *fieldbus* em inglês) através de um dos protocolos de baixo nível já citados, como BACnet, KNX, LonWorks, Modbus, ZigBee ou EnOcean. Os dados são recebidos por módulos de hardware que expõem esses dados para o software através de *datapoints* (ou também chamados de *endpoints*, *tags* ou *points*) que interagem com o software para realizar a ação necessária [DOMINGUES et al., 2016].

2.2 Internet das Coisas

Enquanto a internet foi desenvolvida com dados criados por pessoas, a Internet das Coisas é sobre os dados criados por objetos [NORD; KOOHANG; PALISZKIEWICZ, 2019]. Madakam, Ramaswamy e Tripathi definem Internet das Coisas como uma rede de objetos inteligente aberta que tem a capacidade de se auto-organizar, compartilhar informações, dados e recursos [MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015].

Internet das Coisas é muitas vezes referido pela sigla `IoT` que vem do seu nome em inglês *Internet of Things*. No nome dessa tecnologia temos as duas partes que desempenham os principais papéis: *Internet* e *Coisas*. *Internet* aqui, se refere a mesma internet usadas por bilhões de pessoas ao redor do mundo, já *Coisas*, se refere aos dispositivos com capacidades computacionais atrelados a sensores ou atuadores conectados à rede, o que permite a eles trocarem e consumirem informações.

Em uma rede `IoT`, dispositivos (muitas vezes chamados de *inteligentes*) tem a habilidade de se comunicarem para monitorar o ambiente em que estão, ou alterar este ambiente. Essas ações podem ser configuradas previamente pelo usuário ou serem definidas na hora com a possibilidade de ser acionadas fora da rede local onde esses dispositivos estão conectados através da internet. Como por exemplo, verificar a temperatura de uma sala sem ter chego nela e solicitar ao sistema que acione as unidades AVAC para que a sala esteja na temperatura desejada ao chegar.

Apesar de ocorrer leves diferenças nos modelos de arquitetura, geralmente um sistema IoT é formado por três camadas, sendo elas:

- Camada Física: responsável por perceber o ambiente físico com sensores, atuadores ou qualquer tipo de interface para perceber e modificar o ambiente físico;
- Camada de Rede: camada de transmissão dos dados através das inúmeras formas de conexões disponíveis como redes sem fio, redes móveis e a internet, a fim de fornecer os dados da Camada Física para a Camada de Aplicação;
- Camada de Aplicação, que oferece os serviços chamados *inteligentes* para os usuários finais.

[YAN; ZHANG; VASILAKOS, 2014].

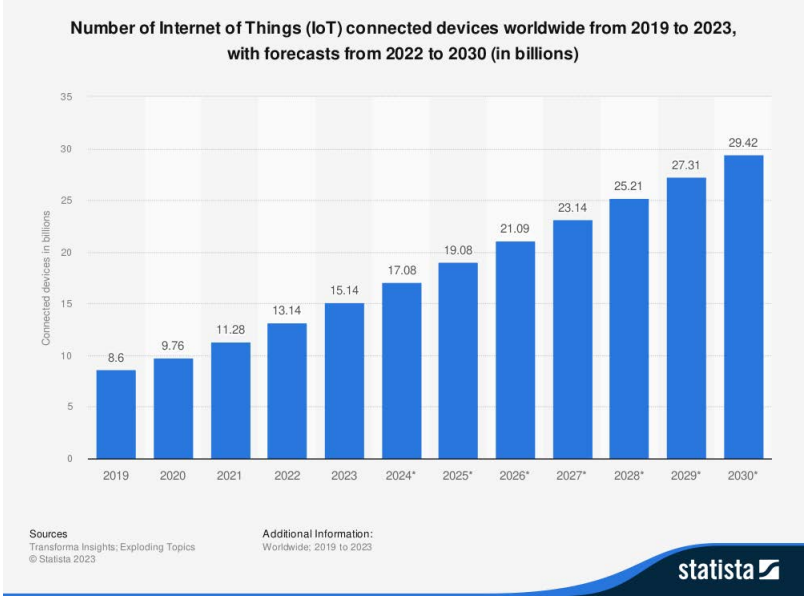
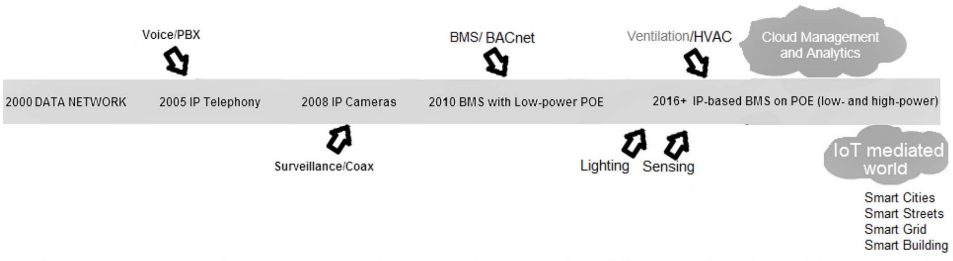


Figura 4 – Números de dispositivos IoT conectados no mundo de 2019 à 2023

Fonte: Statista [2023]

Segundo a empresa especializada em coleta de dados, Statista, a quantidade de dispositivos `IoT` conectados no mundo passa de 15 bilhões em 2023 com projeção para quase o dobro deste número até o fim da década [STATISTA, 2023] como mostrado na figura 4.

Isso se deve muito ao fato de que sensores e microcontroladores ficaram mais baratos, o preço médio dos sensores caiu 200% entre 2004 e 2018 [MICROSOFT, 2019] o que significa mais produtos finais voltado para `IoT` já que ficou possível embarcar sensores em itens do dia a dia com custos acessíveis.



Note: BACnet is an ASHRAE, ANSI, and ISO 16484-5 standard communications protocol for building automation and control (BACnet was subsumed in ASHRAE/ANSI Standard 135 in 1995, and in ISO 16484-5 in 2003.) The BACnet protocol defines several services that are used to communicate between control devices typically utilized in building (including HVAC, lighting control, access control, and fire detection systems). It specifies a number of network, data link, and physical layer protocols, including but not limited to standards such as IP/Ethernet.

Figura 5 – Convergência da tecnologia de sistemas inteligentes para edifícios nos últimos anos

Fonte: Minoli, Sohraby e Occhiogrosso [2017]

Alguns anos atrás, mesmo em edifícios com BACS, não era incomum encontrar diferentes protocolos, redes e cabos, o que gerava ineficiência tanto na implantação como nos sistemas de gerenciamento. Dessa forma algumas soluções migraram para o uso de cabo e conjunto de protocolos comuns entre as aplicações, como o cabo de par trançado

categoria 6 e o protocolo TCP/IP. Com a convergência para protocolos como TCP/IP facilitou a entrada do `IoT` em BACS, como mostrado na figura 5 [MINOLI; SOHRABY; OCCHIOGROSSO, 2017].

Já é possível encontrar equipamentos preparados para uso em BACS com suporte a protocolos `IoT`, como o PFC200 da WAGO que suporta o protocolo MQTT (citado na seção 2.3.2.2).

Figura 6 – Controlador PFC200

Fonte: WAGO [2023]

2.3 Tecnologias

2.3.1 Tecnologias utilizadas em automação de edifícios

Nesta sessão serão apresentados algumas tecnologias utilizadas na automação de edifícios

2.3.1.1 BACnet

Protocolo de Rede de Automação e Controle de Edifícios (Building Automation and Control Network Protocol) ou BACnet é um protocolo mantido e desenvolvido pela ASHRAE com o objetivo de atender as necessidades de comunicações dos sistemas de controle e automação dos edifícios com seu sensores e atuadores. O protocolo fornece meios para que equipamentos troquem informações não importando o serviço que eles realizem [ASHRAE, 2016]. A forma com que o BACnet funciona, permite que usuários não fiquem presos a sistemas proprietários, criando um padrão de comunicação entre os dispositvos como sistemas de AVAC, alarmes de incêndio e etc. uma das suas grandes vantagens é a habilidade de se adaptar a novas tecnologias de rede [BUSHBY; NEWMAN, 2002]. o BACnet define um modelo de informação, criando objetos para os dispositivos conectados, esses objetos representam seus serviços, assim como suas entradas e saídas. Esses objetos chamados de *device object* definem as propriedades do dispositivo como: nome do modelo, fabricante, status e a lista de outros objetos BACnet associados ao dispositivo [DOMINGUES et al., 2016].

2.3.1.2 KNX

KNX ou Konnex é um padrão aberto desenvolvido para ser utilizado em automação de edifícios ou residências [SAPUNDZHI, 2020], da mesma forma que o BACnet, o KNX integra sensores, atuadores e controladores dentro de uma rede, os dispositivos são controlados através de um barramento e são chamados de *Bus Access Unit* ou BAU, sendo possível controlar mais de 65 mil BAUs. No KNX, cada fabricante pode implementar sua própria especificação nos dispositivos. BAUs podem ser separadas em grupos menores chamados de de *areas* que podem ser separadas em *lines* de dispositivos. As mensagens trocadas pelos dispositivos KNX pode ser transmitida através de cabos de par trançado, cabos de energia, frequências de rádio ou internet, sendo a forma mais comum o KNX.TP que usa os cabos de par trançado [KRAUS; VIERTEL; BURGERT, 2020]. Um ponto chave do KNX é seu método de comunicação, pouco similar ao MQTT, o KNX utiliza o padrão *observador* na hora de trocar informações, neste padrão múltiplos dispositivos "observadores" serão notificados através de uma única mensagem em *multicast* de

quando os dados em uma fonte sofrerem alterações, dessa forma fica mais fácil a criação de relacionamentos um para muitos (1:N). [DOMINGUES et al., 2016].

2.3.1.3 ZigBee

ZigBee é um dos mais populares padrões de redes *mesh* sem fio. O protocolo é aberto e baseado em pacotes, projetado para ser de fácil uso, baixo consumo e seguro [TOMAR, 2011]. O modelo ZigBee é principalmente definido em três camadas.

- *Application Support Sublayer*: Responsável por vincular *endpoints*, transmistir mensagens entre os dispositivos e o gerenciamento de grupos.
- *ZigBee Device Object*: Responsável pelo gerenciamento de dispositivos; definir o modo de operação do dispositivo; descobrir novos dispositivos e quais serviços de aplicação ele provê; lidar com os pedidos de vinculamento de outros dispositivos.
- *Application Framework*: Abriga as aplicações dos dispositivos.

[DOMINGUES et al., 2016]

2.3.2 Tecnologias utilizadas no desenvolvimento deste trabalho

2.3.2.1 Tasmota

Tasmota é um software de código aberto que atua como firmware para SoC's (System-on-a-Chip) ESP32 da Espressif e possibilita controle e comunicação personalizado com alguns dispositivos comerciais que são baseados nesse SoC, como interruptores inteligentes, lâmpadas inteligentes ou controles infravermelho inteligentes. A comunicação com o firmware é realizada através do protocolo MQTT, permitindo integrar o hardware comercial a qualquer sistema com suporte ao protocolo [TASMOTA, 2020].

2.3.2.2 MQTT

MQTT ou Message Queuing Telemetry Transport [International Organization for Standardization, 2016] é um protocolo de transporte para mensagens no formato *publicar/assinar*, ele é simples, leve, aberto e projetado para ser fácil de implementar, seu foco de uso são ambientes onde recursos são geridos com cuidado, como comunicação *Machine to Machine* (M2M) e Internet das Coisas [OASIS, 2019]. O foco principal do projeto desse protocolo é minimizar o consumo de banda e recursos do dispositivo, sendo assim, ele é capaz de transmitir dados com uma banda baixa e conexões instáveis. O protocolo funciona sobre TCP/IP ou outros protocolos de rede que possam prover as mesmas capacidades do TCP/IP como conexões bi-direcionais. O MQTT oferece três qualidades de serviços (*Quality of Service*, ou QoS) na entrega de mensagens.

- QoS 0: “No máximo uma vez”, mensagens são entregues no máximo uma vez.
- QoS 1: “Pelo menos uma vez”, mensagens são garantidas de serem entregues pelo menos uma vez, pode ocorrer duplicatas.
- QoS 2: “Exatamente uma vez”, mensagens são entregues exatamente uma vez.

Uma estrutura que suporte o protocolo MQTT deve ter pelo menos três componentes,

1. *Publisher* ou Produtor, um cliente MQTT
2. *Broker*, o servidor MQTT que gerencia o recebimento e entrega das mensagens
3. *Subscriber* ou Consumidor, um cliente MQTT

No padrão *publicar/assinar*, o produtor cria uma mensagem e envia para o servidor, consumidores então leem essa mensagem. No MQTT um produtor publica mensagens nos tópicos do *broker*, consumidores interessados em receber essas mensagens se inscreverão nesse tópico e o *broker* se encarregará de entregá-las [MISHRA; KERTESZ, 2020].

3 Sistema Opus

Buscando o objetivo do trabalho, foi proposto um sistema denominado de *Opus*, dividido em três partes, **Opus**, **Maestro** e **Conductor**, ele tem o objetivo principal de permitir que múltiplos usuários possam controlar dispositivos IoT.

3.1 Servidor Local

O controle de dispositivos, gerenciamento de permissões de usuário e abstração da estrutura de um edifício, são responsabilidades assumidas pelo Servidor Local, chamado de *Opus*.

O *Opus* é uma aplicação escrita em Python visando convergir a operação de dispositivos IoT de vários fabricantes e protocolos em um único ponto de controle, tal funcionalidade é obtida a partir da natureza modular do Python que foi aqui aproveitada para criar partes expansíveis do sistema, chamadas de *drivers* e *interfaces*.

A aplicação é organizada em quatro módulos principais, como ilustrado na figura 7, são eles:

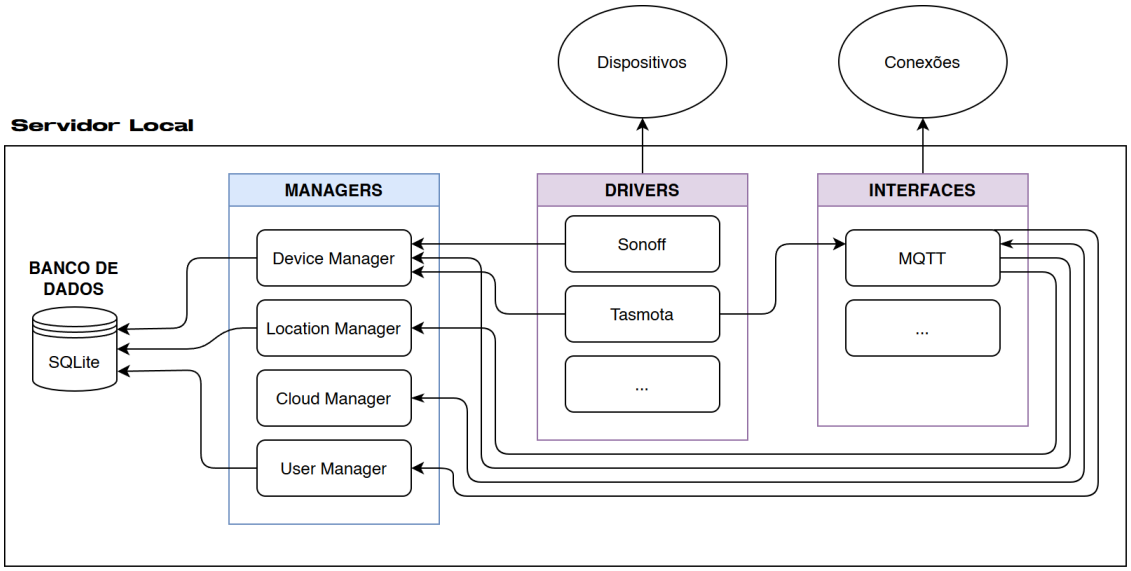


Figura 7 – Módulos do Opus

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Interfaces, módulos que adicionam uma forma de comunicação ao *Opus*, como, por exemplo, uma *interface* para comunicação com dispositivos ZigBee[2.3.1.3], ou KNX[2.3.1.2]; *Drivers*, responsáveis por traduzir os comandos do *Opus* para o protocolo do dispositivo, podendo ou não utilizar alguma *interface* própria para esta finalidade; *Managers*, são módulos da aplicação que gerenciam seu funcionamento, recebem, enviam e processam comandos vindos do Servidor Remoto e por fim, o banco de dados.

3.1.1 Interfaces

A fim de ser uma aplicação modular, que pode se comunicar com diversos dispositivos, foi necessário levar em conta a vasta gama de protocolos existentes hoje no

mercado, sejam de dispositivos IoT com fins de automação residencial, ou equipamentos industriais de automação de edifícios. Para preencher essa lacuna, foi criado o conceito de *Interfaces*. Este conceito permite que novos meios de comunicação sejam adicionados sem a necessidade de alterar o código-fonte dos módulos já existentes, criando um sistema expansível.

```python
class Interface1():
    """Classe exemplo de Interface"""
    def __init__(self):
        """
        O construtor da classe não
        deve iniciar a comunicação, apenas
        definir parâmetros fixos para a comunicação
        como por exemplo versão do protocolo
        """
        self.client = foreign_protocol.Client(
            protocol_version="1.0"
        )
        log.info("Interface1 intialized")

    def begin(self, config:dict) -> bool:
        """Método de início da comunicação"""

        """"
        O método begin deve iniciar a comunicação
        utilizando os parâmetros passados pelo dicionário
        de configuração
        """
        try:
            self.client.connect(
                address=config["address"],
                port=config["port"]
            )
            log.info("Connection established")
            return True
        except SpecificException as e:
            log.error("Connection failed")
            return False

# A função initialize será a primeira a ser chamada
# no módulo
def initialize() -> Interface1:
    """Método de inicialização da interface"""
    return Interface1()
```

Figura 8 – Exemplo de Interface

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Uma *Interface* é um módulo Python que implementa um conjunto de métodos necessários para a comunicação com um protocolo específico. Cada interface encapsula a lógica de comunicação para um método de comunicação e expõe aos módulos somente os métodos necessários para realizar a comunicação. Todas as *Interface*s recebem um dicionário de configurações, onde o usuário pode especificar parâmetros para a comunicação, desta forma cada método de comunicação pode ser configurado conforme as necessidades do usuário e de forma dinâmica.

Para um módulo Python ser considerado uma *Interface* pelo *Opus*, ele deve implementar uma função “ initialize ()” que retorna o objeto principal da classe implementada no módulo, este objeto será adicionado ao ambiente de execução do *Opus* e estará então acessível para todos os módulos da aplicação. Também é necessário a implementação

de um método "begin(self, config: dict) -> bool" membro da classe principal, este método receberá o dicionário de configurações da *Interface* e então começar a comunicação com o protocolo especificado. A figura 8 apresenta um exemplo prático da implementação de uma *Interface*, destacando os métodos e função essenciais para o funcionamento.

As *Interface*s são carregadas na aplicação em tempo de execução, de forma dinâmica no momento da inicialização dos módulos. Para que uma *Interface* seja carregada, é necessário que seu nome esteja listado no arquivo de configuração do *Opus* seguido de um identificador único (exemplo: "interface1 <identificador>"), como também é necessário que o arquivo contendo a implementação da *Interface* esteja no diretório de *Interface*s com o mesmo nome mencionado no arquivo de configuração (exemplo: "./interfaces/interface1.py"), em caso da mesma *Interface* ser mencionada mais de uma vez no arquivo de configuração com o identificador diferente, será carregada uma instância diferente da *Interface* para cada identificador. Por fim, se ocorrer uma falha durante a inicialização de uma *Interface* o *Opus* não prosseguirá e encerrará a execução com um erro marcado como crítico no arquivo de log, sendo necessário corrigir o erro e reiniciar a aplicação.

3.1.2 Drivers

Sem uma padronização da comunicação entre dispositivos IoT, cada fabricante pode adotar protocolos distintos e estruturas variadas de mensagens. Diante deste cenário, foi adotado o conceito de *Driver*s, criado para abstrair e padronizar a comunicação entre dispositivos e o *Opus*.

*Driver*s são pacotes escritos em Python e carregados no momento da inicialização do *Opus*, sua função é atuar como um tradutor para um tipo específico de dispositivo, garantindo que comandos e dados sejam corretamente interpretados e processados. Além de, se suportado pelo método usado pelo driver, reportar novos dispositivos encontrados. Por conta disso, é necessário que *Drivers* e o módulo de gerenciamento de dispositivos do *Opus* trabalhem em conjunto, garantindo a integração de uma ampla gama de dispositivos sem a necessidade de modificar os módulos do sistema, como resultado o sistema se torna modular e escalável.

Em casos onde o dispositivo se comunica via um protocolo não suportado nativamente pelo Python, como dispositivos que requerem uma camada física diferente das utilizadas pelo protocolo TCP/IP, como Serial, ou até mesmo que utilizam TCP/IP, porém não HTTP, como o MQTT, é possível que *Driver*s acessem as *Interfaces* para realizar a comunicação com o dispositivo.

Para ser considerado um *Driver*, o pacote deve seguir um padrão de nomenclatura e implementar algumas funções esperadas. O pacote e o módulo principal devem ter o mesmo nome; o módulo principal deve ter implementado uma função "start()"

sem retornos, essa função será chamada no momento em que o *Driver* for carregado; o módulo principal deve ter um dicionário global de *Interfaces* com a seguinte assinatura: interfaces : dict [str , Any], em caso do *Driver* necessitar de uma *Interface*, o nome dela deve estar presente neste dicionário e o *Opus* injetará o objeto da *Interface* neste dicionário, permitindo que o *Driver* a acesse.

Como *Drivers* comandam toda a comunicação com os dispositivos, toda a estrutura de um dispositivo, assim como a lógica de controle ficam a cargo do *Driver*. Eles são autônomos e podem funcionar como aplicações independentes, dando liberdade de implementar a lógicas singulares não importando sua complexidade, todavia, é importante que o *Driver* siga o padrão esperado pelo *Opus* em classes voltadas para a comunicação com dispositivos.

3.1.2.1 A Classe de Dispositivos

A forma mais simples de abstrair um dispositivo é via uma classe. *Drivers* tem liberdade total para implementar a classe dos dispositivos, sendo necessário apenas que essa classe seja herdeira da classe genérica de dispositivos do *Opus*, que contém os métodos esperados para o controle dos dispositivos através da aplicação.

```python
from core.devices.__generic import OpusDevice
from core.device_manager import DeviceManager
from core.devices.light import OpusLight

from typing import override
from uuid import UUID, uuid1


# O Opus irá preencher o valor da chave com a Interface
# solicitada neste dicionário
interfaces: dict[any, str] = {
    "Interface1": None,
    "Interface2": None
    }

class Driver1Device(OpusDevice):
    """Dispositivo genérico exemplo para o Driver1"""
    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.specific_address: str = ""
        self.id = uuid1()

class Driver1Light(OpusLight):
    """Dispositivo do tipo Luz para o Driver1"""
    def __init__(self, name: str, driver1_device: Driver1Device):
        super().__init__(
            name=name,
            uuid=UUID(str(driver1_device.id)),
            driver="Driver1"
        )
        self.specific_address: str = driver1_device.specific_address

    @override
    def on(self):
        """
        Reeimplementação do método Ligar, de acordo
        com os requesitos do Driver
        """
        interfaces['Interface1'].enviar_mensagem(
            {"address": self.specific_address, "ação": "ligar_luz"}
            )

class Driver1:
    """Driver de exemplo para o Opus"""
    def __init__(self, device_manager: DeviceManager):
        self.opus_device_manager: DeviceManager = device_manager

    def translate_message_to_device(self, message: str) -> list[
Driver1Device]:
        """
        Método exemplo para receber a mensagem da Interface
        e retornar quais novos dispositivos foram descobertos
        """

    def find_devices(self):
        """
        Uma possível função de um Driver, é encontrar
        novos dispositivos e listá-los para o Opus
        """
        global interfaces
        # Exemplo de uso de uma interface em um Driver
        interfaces['Interface2'].enviar_mensagem(PROCURAR_DISPOSITIVOS)
        msg = interfaces['Interface2'].receber_mensagem()
        new_devices: list[Driver1Device] = translate_message_to_device(msg
)

# Adiciona dispositivos descobertos a lista de dispositivos disponíveis
        for device in new_devices:
            self.opus_device_manager.new_device(device)

def start(dirs: dict,
          config: dict,
          drivers: dict,
          interfaces: dict,
          managers: dict) -> None:
    """Função chamada pelo Opus para iniciar o Driver"""
    finder = Driver1(managers['devices'])
```

Figura 9 – Exemplo de Driver

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Referências

APPLIED RISK. *I Own Your Building (Management System)*. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.

ASHRAE. *BACnet™ - A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks*. Georgia, US, 2016. Disponível em: ⟨https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/standards-addenda/standard-135-2016-bacnet-a-data-communication-protocol-for-building-automation-and-control-net⟩ Citado na página 12.

BELLINI, P.; NESI, P.; PANTALEO, G. Iot-enabled smart cities: A review of concepts, frameworks and key technologies. *Applied Sciences (Switzerland)*, MDPI, v. 12, 2 2022. ISSN 20763417. Citado na página 6.

BERKOBEN, K.; KAED, C.; SODORFF, T. *A Digital Buildings Ontology for Google's Real Estate*. 2020. Disponível em: ⟨https://github.com/google/digitalbuildings⟩. Citado na página 6.

BROOKS, D. Intelligent buildings: an investigation into current and emerging security vulnerabilities in automated building systems using an applied defeat methodology. 03 2012. Citado na página 5.

BUCKMAN, A. H.; MAYFIELD, M.; BECK, S. B. What is a smart building? *Smart and Sustainable Built Environment*, Emerald Publishing, v. 3, p. 92–109, 9 2014. ISSN 20466102. Citado 3 vezes nas páginas 4, 5 e 6.

BUSHBY, S. T.; NEWMAN, H. M. *BACnet Today Significant New Features And Future Enhancements*. 2002. Citado na página 12.

CLEMENTS-CROOME, D. Sustainable intelligent buildings for people: A review. *Intelligent Buildings International*, v. 3, p. 67–86, 2011. ISSN 17508975. Citado na página 5.

DOMINGUES, P. et al. *Building automation systems: Concepts and technology review*. [S.l.]: Elsevier B.V., 2016. 1-12 p. Citado 3 vezes nas páginas 8, 12 e 13.

European Committee for Standardization. *Energy performance of buildings — Impact of Building Automation Control and Building Management*. [S.l.], 2006. Disponível em: ⟨http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set4/WI_22_TC-approval_version_prEN_15232_Integrated_Building_Automation_Systems.pdf⟩. Citado na página 7.

INTELLIGENT. *In: Oxford Learner's Dictionaries*. 2023. Disponível em: ⟨https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/american_english/intelligent⟩. Acesso em: 18 de fevereiro de 2023. Citado na página 4.

International Organization for Standardization. *Information technology — Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) v3.1.1*. Geneva, CH, 2016. Disponível em: ⟨https://www.iso.org/standard/69466.html⟩. Citado na página 13.

International Organization for Standardization. *Building automation and control systems (BACS) — Part 6: Data communication conformance testing*. Geneva, CH, 2020. Disponível em: ⟨https://www.iso.org/standard/79630.html⟩. Citado na página 7.

KAMAL, S. et al. *Smart and Intelligent Buildings Achieving Architectural Concepts*. 2021. 155-163 p. Citado na página 6.

KRAUS, N.; VIERTEL, M.; BURGERT, O. Control of knx devices over ieee 11073 service-oriented device connectivity. In: . [S.l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. p. 421–424. ISBN 9781728163895. Citado na página 12.

MACAYA, J. F. M. et al. Ano IX - Nº 2 - Smart Cities. *Cetic.br - Centro Regional para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação*, nov. 2017. Disponível em: ⟨https://cetic.br/publicacao/ano-ix-n-2-smart-cities⟩. Citado na página 1.

MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of things (iot): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, Scientific Research Publishing, Inc„ v. 03, p. 164–173, 2015. ISSN 2327-5219. Citado na página 9.

MEYER, F. D. *How smart buildings will revolutionize our society | Frederik De Meyer | TEDxGlarus*. 2022. Disponível em: ⟨https://www.youtube.com/watch?v=XDP2Gz7fP38⟩. Acesso em: 16 de setembro de 2023. Citado na página 1.

MICROSOFT. 2019 manufacturing trends report. 2019. Disponível em: ⟨https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/EN-US-CNTNT-Report-2019-Manufacturing-Trends.pdf⟩. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 10.

MINOLI, D.; SOHRABY, K.; OCCHIOGROSSO, B. Iot considerations, requirements, and architectures for smart buildings-energy optimization and next-generation building management systems. *IEEE Internet of Things Journal*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., v. 4, p. 269–283, 2 2017. ISSN 23274662. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.

MISHRA, B.; KERTESZ, A. The use of mqtt in m2m and iot systems: A survey. *IEEE Access*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., v. 8, p. 201071–201086, 2020. ISSN 21693536. Citado na página 14.

MORVAJ, B.; LUGARIC, L.; KRAJCAR, S. *Demonstrating smart buildings and smart grid features in a smart energy city*. 2011. Citado na página 1.

NEVES, R. P. A. de A.; CAMARGO, A. R. *Espaços Arquitetônicos de Alta Tecnologia: Os Edifícios Inteligentes*. 2002. Citado na página 4.

NORD, J. H.; KOOHANG, A.; PALISZKIEWICZ, J. *The Internet of Things: Review and theoretical framework*. [S.l.]: Elsevier Ltd, 2019. 97-108 p. Citado na página 9.

OASIS. *MQTT Version 5.0*. [S.l.], 2019. Disponível em: ⟨https://mqtt.org/mqtt-specification/⟩. Citado na página 13.

PAIVA, A. de; JEDON, R. Short- and long-term effects of architecture on the brain: Toward theoretical formalization. *Frontiers of Architectural Research*, Higher Education Press Limited Company, v. 8, p. 564–571, 12 2019. ISSN 20952635. Citado na página 1.

POWELL, J. A. *Intelligent Design Teams Design Intelligent Buildings*. [S.l.]: Habitat International, 1990. 83-94 p. Citado na página 4.

SAPUNDZHI, F. A survey of knx implementation in building automation. *TEM Journal*, UIKTEN - Association for Information Communication Technology Education and Science, v. 9, p. 144–148, 2 2020. ISSN 22178333. Citado na página 12.

SMART. *In: Oxford Learner's Dictionaries*. 2023. Disponível em: ⟨https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/american_english/smart_1⟩. Acesso em: 18 de fevereiro de 2023. Citado na página 4.

STATISTA. *Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2023, with forecasts from 2022 to 2030*. 2023. Disponível em: ⟨https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/⟩. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 10.

STUBBINGS, M. Intelligent buildings. Contracts, 1986. Citado na página 4.

TASMOTA. 2020. Disponível em: ⟨https://tasmota.github.io/docs/About⟩. Citado na página 13.

TOMAR, A. *Introduction to Zigbee Technology*. [S.l.]: element14, 2011. Citado na página 13.

WAGO. *Controlador PFC200; 2 geração; 2 x ETHERNET, RS-232/-485*. 2023. Disponível em: ⟨https://www.wago.com/br/controlador/controlador-pfc200/p/750-8212⟩. Citado na página 11.

WIGGINTON, M.; HARRIS, J. *Intelligent skins*. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2002. 176 p. ISBN 0750648473. Citado na página 4.

WONG, J. K.; LI, H.; WANG, S. W. Intelligent building research: A review. *Automation in Construction*, Elsevier, v. 14, p. 143–159, 2005. ISSN 09265805. Citado na página 4.

YAN, Z.; ZHANG, P.; VASILAKOS, A. V. A survey on trust management for internet of things. *Journal of Network and Computer Applications*, Academic Press, v. 42, p. 120–134, 2014. ISSN 10958592. Citado na página 9.