

**GUSTAVO FREITAS DE SÁ OLIVEIRA
ROBERTA BOAVENTURA ANDRADE**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
INTERNET DAS COISAS PARA UM HOTEL 4.0.**

São Paulo
2023

**GUSTAVO FREITAS DE SÁ OLIVEIRA
ROBERTA BOAVENTURA ANDRADE**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
INTERNET DAS COISAS PARA UM HOTEL 4.0.**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Engenheiro Eletricista com
ênfase em Computação.

São Paulo
2023

**GUSTAVO FREITAS DE SÁ OLIVEIRA
ROBERTA BOAVENTURA ANDRADE**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
INTERNET DAS COISAS PARA UM HOTEL 4.0.**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Engenheiro Eletricista com
ênfase em Computação.

Orientador:

Jorge Luís Risco Becerra

São Paulo
2023

Aos meus pais, por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante todo o meu período escolar.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é todo dedicado aos meus pais, pois é graças ao seu esforço que hoje posso concluir o meu curso.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

- Isaac Newton

RESUMO

O projeto abrange um sistema de monitoramento de consumo energético para um hotel 4.0. Este sistema oferece à gerência do hotel uma visão abrangente dos pontos de maior consumo, permitindo melhorias na eficiência dos serviços prestados aos hóspedes e, simultaneamente, promovendo a sustentabilidade do empreendimento. O planejamento do sistema adota uma abordagem científica, explorando frameworks de design de sistemas de controle. A aplicação resultante visa tirar pleno proveito do potencial da IoT e das metodologias de empreendimentos 4.0. Além de melhorar significativamente a experiência dos hóspedes, o sistema também tem como objetivo otimizar as operações internas do hotel, promovendo assim uma diferenciação competitiva notável no mercado hoteleiro.

Palavras-Chave – Internet Das Coisas, Design Science, Sustentabilidade, MQTT, Redes sem fio.

ABSTRACT

The project encompasses an energy consumption monitoring system for a 4.0 hotel. This system provides the hotel management with a comprehensive view of the highest consumption points, enabling improvements in the efficiency of services provided to guests while simultaneously promoting the sustainability of the venture. The system's planning adopts a scientific approach, exploring frameworks of control system design. The resulting application aims to fully exploit the potential of IoT and 4.0 enterprise methodologies. In addition to significantly enhancing guest experiences, the system also aims to optimize the hotel's internal operations, thus promoting a notable competitive differentiation in the hotel market.

Keywords – Internet of Things, Design Science, Sustainability, MQTT, Wireless Networks.

LISTA DE FIGURAS

1	Arquitetura em camadas de Khan [1]	18
2	Ciclo de pesquisa de Hevner [2]	21
3	Ciclo de pesquisa de Wieringa [3]	21
4	Design Framework proposto por Wieringa [3]	24
5	Pontos de vista de Linington [4]	25
6	Topologia da rede MQTT [5]	29
7	Abstração do design, autoria própria	36
8	Arquitetura em camadas, autoria própria	37
9	Instalação da placa, autoria própria	41
10	Diagrama Entidade-Relacionamento, autoria própria	43
11	Dado salvo no banco de dados, autoria própria	47
12	Dado sendo exibido pelo dashboard, autoria própria	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT Internet of Things

MQTT Message Queuing Telemetry Transport

RM-ODP Reference Model for Open Distributed Processing

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ISO International Organization for Standardization

CONTEÚDO

1	Introdução	12
1.1	Motivação	12
1.2	Objetivo	12
1.3	Justificativa	13
1.4	Organização do Trabalho	14
2	Fundamentação Teórica	16
2.1	Internet das Coisas	16
2.1.1	História	16
2.1.2	Arquitetura	17
2.2	Design Science Research	19
2.2.1	História	19
2.2.2	Artefato	20
2.2.3	Design Problems	21
2.2.4	Knowledge Questions	22
2.2.5	Design Frameworks	22
2.2.6	RM-ODP	24
3	Metodologia	26
3.1	Design Framework	26
3.2	ABNT NBR ISO 50001	26
3.2.1	Levantamento dos Dados	27
3.2.2	Identificação dos USEs	27
3.2.3	Identificação de Oportunidades	27

3.2.4	Objetivos e Metas	28
3.3	MQTT	28
3.3.1	Funcionamento	29
3.4	Docker	29
3.5	Mosquitto	30
3.6	paho-mqtt	30
3.7	Django	31
3.8	PostgreSQL	31
3.9	Bintechnology JE05	31
4	Requisitos	32
4.1	Requisitos funcionais	32
4.2	Requisitos não-funcionais	32
4.3	Requisitos ABNT NBR ISO 50001	33
5	Desenvolvimento	35
5.1	Projeto e Implementação	35
5.1.1	Investigação	35
5.1.2	Design	35
5.1.3	Arquitetura	36
5.1.4	Validação	37
5.1.4.1	Capacidade de operações com dados	38
5.1.4.2	Escalabilidade do sistema	38
5.1.4.3	Facilidade do uso do sistema	39
5.1.5	Implementação	39
5.1.5.1	Configuração da placa	40
5.1.5.2	Especificação do Banco de Dados	42
5.1.5.3	Resumo Geral	44

5.1.5.4	Gasto por categoria	44
5.1.5.5	Gasto por período	45
5.1.5.6	Gasto por hóspede	45
5.2	Testes e Avaliação	46
5.2.1	Unidade e Integração	46
5.2.1.1	Coleta	46
5.2.1.2	Armazenamento	47
5.2.1.3	Exibição	47
5.2.2	Funcionalidade e Desempenho	48
5.2.2.1	Resumo Geral	49
5.2.2.2	Gasto por categoria	49
5.2.2.3	Gasto por período	49
5.2.2.4	Gasto por hóspede	50
6	Conclusão	51
6.1	Conclusões do Projeto de Formatura	51
6.2	Contribuições	51
6.3	Perspectivas de Continuidade	52
	Referências	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A motivação para este trabalho surge da necessidade de acompanhar as transformações tecnológicas e explorar as possibilidades oferecidas pelas tecnologias de IoT (Internet das Coisas) no setor hoteleiro. Apesar deste setor ter sofrido transformações nos últimos anos, o uso de tecnologias e tendências de mercado encontra-se ainda defasado. Diversas ferramentas aplicadas aos mais diversos setores de produção poderiam ser adaptadas para a obtenção de um ganho operacional dos hotéis.

Com o aumento da preocupação e discussão quanto às questões ambientais, torna-se obrigatória a necessidade do planejamento e desenvolvimento de soluções sustentáveis na produção de bens e serviços. O setor de hotelaria não encontra-se fora desse contexto, e deve utilizar a tecnologia para adaptar os seus processos para que sejam mais eficientes em termos de recursos.

O trabalho será construído no contexto da grande demanda por automatização de tarefas, advento de tecnologias de IoT e surgimento de empreendimentos 4.0, com abordagens que visam criar soluções de automação em várias etapas dos processos de negócios, resultando em economia significativa. Esses empreendimentos buscam soluções de consumo energético cada vez mais sustentáveis, por motivos econômicos, reputacionais e morais.

1.2 Objetivo

O presente projeto tem como objetivo desenvolver um sistema de Internet das Coisas (IoT) para um hotel 4.0 que faça o registro de consumo energético dos cômodos, permitindo à gerência do hotel visualizar as áreas de maior gasto visando aprimorar a eficiência dos serviços oferecidos aos hóspedes e promover a sustentabilidade do empreendimento. Pretende-se utilizar o mesmo sistema para monitorar o gasto energético individual dos

hóspedes, criando oportunidades de diagnóstico e incentivos para que esses tenham melhores hábitos de consumo.

O sistema a ser implementado possui como principal foco o aumento da eficiência energética do hotel, visando minimizar desperdícios. O projeto visa encontrar as principais fontes de gasto desnecessário e cortá-las, para uma operação mais barata e ambientalmente sustentável.

No planejamento da arquitetura do sistema, pretende-se utilizar uma abordagem científica, explorando frameworks de design de sistemas de controle. Essa motivação se dá pela correteza da documentação e escalabilidade dos sistemas montados sob essa estrutura. Entre os trabalhos referenciados nesse tema, pode-se citar *Building Enterprise Systems with ODP (2011)* e *Design Science Methodology (2014)*, que buscam propor diferentes frameworks de design de soluções de software.

A aplicação completa projetada no trabalho terá como objetivo principal, portanto, aproveitar o potencial da IoT e dos métodos de empreendimentos 4.0 para melhorar a experiência dos hóspedes, otimizar a operação e promover a diferenciação competitiva no mercado.

1.3 Justificativa

A realização deste projeto baseia-se na necessidade de acompanhar as transformações tecnológicas e atender às crescentes expectativas dos clientes do setor hoteleiro. A implementação de novos processos de negócio é fundamental para aprimorar a eficiência operacional dos hotéis, reduzir custos e oferecer uma experiência personalizada e moderna aos hóspedes.

A adoção dessas tecnologias contribui, principalmente, para a sustentabilidade ambiental. A automação permite o gerenciamento inteligente de recursos, otimizando seu uso e reduzindo o impacto ambiental. Isso não apenas beneficia o meio ambiente, mas também pode resultar em economias significativas em custos operacionais para o hotel.

A ABNT NBR ISO 50001 é uma norma internacional que estabelece requisitos para sistemas de gestão de energia. É aplicável a qualquer organização, e fornece uma estrutura sólida para estabelecer políticas energéticas, metas e processos de melhoria contínuas. A norma pode ser uma ferramenta valiosa para organizações que buscam conformidade legal e regulatória relacionada à gestão de energia. O presente projeto se justifica por auxiliar organizações do setor hoteleiro a se adequar às normas citadas.

A melhoria da experiência do hóspede é outra razão crucial para a realização deste projeto. Através da implementação de controle de dados automáticos, os hotéis podem oferecer aos hóspedes um nível superior de conforto, comodidade e conveniência. Desde a personalização dos quartos com recursos automatizados até a disponibilidade de serviços sob demanda, a aplicação de tecnologias de automação cria uma experiência diferenciada e memorável, o que resulta em maior satisfação e fidelidade dos clientes.

Em um cenário altamente competitivo, os hotéis que não se adaptam às inovações tecnológicas correm o risco de perder para a concorrência. A adoção de sistemas de controle IoT permite a automação de processos e a manipulação automática de dados, resultando em uma operação mais ágil e eficiente. Além disso, a oferta de serviços personalizados e a disponibilidade de recursos tecnológicos avançados podem diferenciar o hotel e atrair os hóspedes.

Com o uso do sistema que será projetado, há um significativo ganho reputacional para os hotéis. Atualmente, os clientes estão cada vez mais preocupados com o impacto ambiental causado pelos bens e serviços por eles consumidos. O uso de um sistema IoT que visa diminuir os gastos energéticos se justifica também pela atração de um novo nicho de clientes.

A importância do projeto para o setor se dá, portanto, pela sua contribuição para a redução de custos do hotel, aumento do conforto dos hóspedes e melhor sustentabilidade ambiental.

1.4 Organização do Trabalho

O projeto será dividido em cinco tópicos principais:

1. **Fundamentação Teórica:** Serão apresentados os conceitos e fundamentos teóricos relacionados à IoT e à Indústria 4.0 aplicados ao setor hoteleiro. Serão discutidos também os frameworks de design de projetos de software utilizados na implementação.
2. **Metodologia:** Será descrita a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto. Serão apresentadas as etapas, os métodos, as técnicas de análise e os procedimentos práticos utilizados para a elaboração da aplicação.
3. **Requisitos:** Serão detalhados os requisitos funcionais e não funcionais da aplicação IoT para o setor hoteleiro. Serão definidas as funcionalidades esperadas, as in-

terações entre os dispositivos IoT, as interfaces de usuário e os critérios de desempenho, segurança e escalabilidade.

4. Desenvolvimento: Será abordado o desenvolvimento da aplicação IoT no setor hoteleiro. Serão apresentadas as etapas de design, implementação e integração dos componentes do sistema, a escolha dos dispositivos IoT, a programação dos algoritmos e a configuração das plataformas utilizadas.
5. Conclusão: Serão apresentadas as conclusões do projeto. Serão destacados os principais resultados alcançados, os desafios encontrados, as contribuições do trabalho e as perspectivas futuras para a aplicação em hotéis reais.

Durante a discussão desses tópicos, serão abordados os aspectos relacionados à implementação, integração e análise dos dados coletados, bem como os desafios e oportunidades encontrados ao longo do desenvolvimento do projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Internet das Coisas

De acordo com Madakam, Ramaswamy e Tripathi (2015), a Internet das Coisas pode ser definida como uma rede de objetos inteligentes capazes de se auto-organizar, compartilhar informações, dados e recursos, reagindo face às situações e mudanças no ambiente. Esse tipo de tecnologia permite que diversos sensores e atuadores trabalhem em conjunto para a realização de uma tarefa ou de um controle. A conexão à internet é uma importante característica dos sistemas IoT, visto que, com ela, é possível que um servidor central controle diversos componentes de forma remota, escalável e sem fio. Os objetos físicos podem ser desde eletrodomésticos, televisões, geladeiras, celulares, e até sistemas fabris completos.

Evans (2011) afirma que a importância da Internet das Coisas reside principalmente do fato de que o desenvolvimento científico depende do compartilhamento de dados, informações e conhecimento entre pesquisadores. A coleta automatizada de dados de diversos contextos é fundamental para a extração de conclusões sobre o ambiente, que podem ser convertidas em conhecimento e, posteriormente, em sabedoria.

2.1.1 História

Segundo Lacerda e Lima-Marques (2015), o termo foi confeccionado em 1999 por Kevin Ashton, co-fundador do *Auto-ID Center* do *Massachusetts Institute of Technology*. Ashton queria sensoriar informações por radiofrequência e compartilhá-las através da Internet. O criador do termo afirma em Ashton (2009) que, na época, os dados disponibilizados na Internet eram majoritariamente capturados por humanos. Isso possui como problema o fato de que os humanos possuem tempo, atenção e acurácia limitados e, portanto, não são bons na obtenção de dados do mundo físico.

A IoT ganhou ainda mais impulso no início do século XXI, com o rápido avanço da

tecnologia de sensores, redes sem fio e dispositivos móveis. Isso possibilitou a conexão e o monitoramento de uma ampla variedade de objetos e ambientes, como eletrodomésticos, veículos, sistemas de segurança, dispositivos de saúde, infraestrutura urbana e muito mais.

De acordo com Evans (2011), o número de dispositivos computacionais conectados à internet superou a população mundial em 2010. Dessa forma, as tecnologias IoT se expandiram em diversos setores, com um papel fundamental na transformação digital, permitindo a coleta, análise e utilização de dados em tempo real para melhorar a eficiência, a tomada de decisões e a qualidade de vida. A interconexão de dispositivos e objetos físicos através da internet oferece uma gama de oportunidades e desafios, impulsionando o desenvolvimento de novas tecnologias, padrões e regulamentações.

As tecnologias IoT, por serem capazes de sensoriar e atuar em variáveis do ambiente de forma automatizada, oferecem um ganho significativo em termos de qualidade de vida e eficiência dos processos de negócios. Muitas tarefas que antes exigiam a alocação de um grande número de recursos naturais, capitais ou humanos podem agora ser automatizados para que o processamento dos dados seja feita por máquinas. Esse padrão de arquitetura prevê uma redução de erros operacionais e padronização dos métodos de comunicação entre humanos e máquinas.

2.1.2 Arquitetura

De acordo com Khan (2012), uma aplicação IoT pode ser modelada através de uma pilha de cinco camadas, que oferecem serviços e interfaces para as camadas adjacentes. Essas podem ser descritas da seguinte maneira:

1. Percepção: consiste dos dispositivos físicos do sistema e dos seus sensores. Essa cama é responsável por detectar informações do ambiente físico e passá-las para a camada superior.
2. Rede: transmite as informações da camada de percepção para o sistema de processamento dos dados. Utiliza tecnologias de redes, geralmente sem-fio, para comunicar os objetos físicos ao servidor central.
3. Middleware: responsável pelo processamento, estruturação e armazenamento dos dados coletados. Realiza também decisões automatizadas baseadas nos dados de entrada.

4. Aplicação: trata da exibição dos dados e das aplicações alimentadas pelas informações das demais camadas.
5. Negócio: responsável pelo sistema, regras e modelos de negócio favorecidos pela construção da aplicação. Deve apresentar como o sistema desenvolvido é vantajoso no contexto de um problema do mundo real.

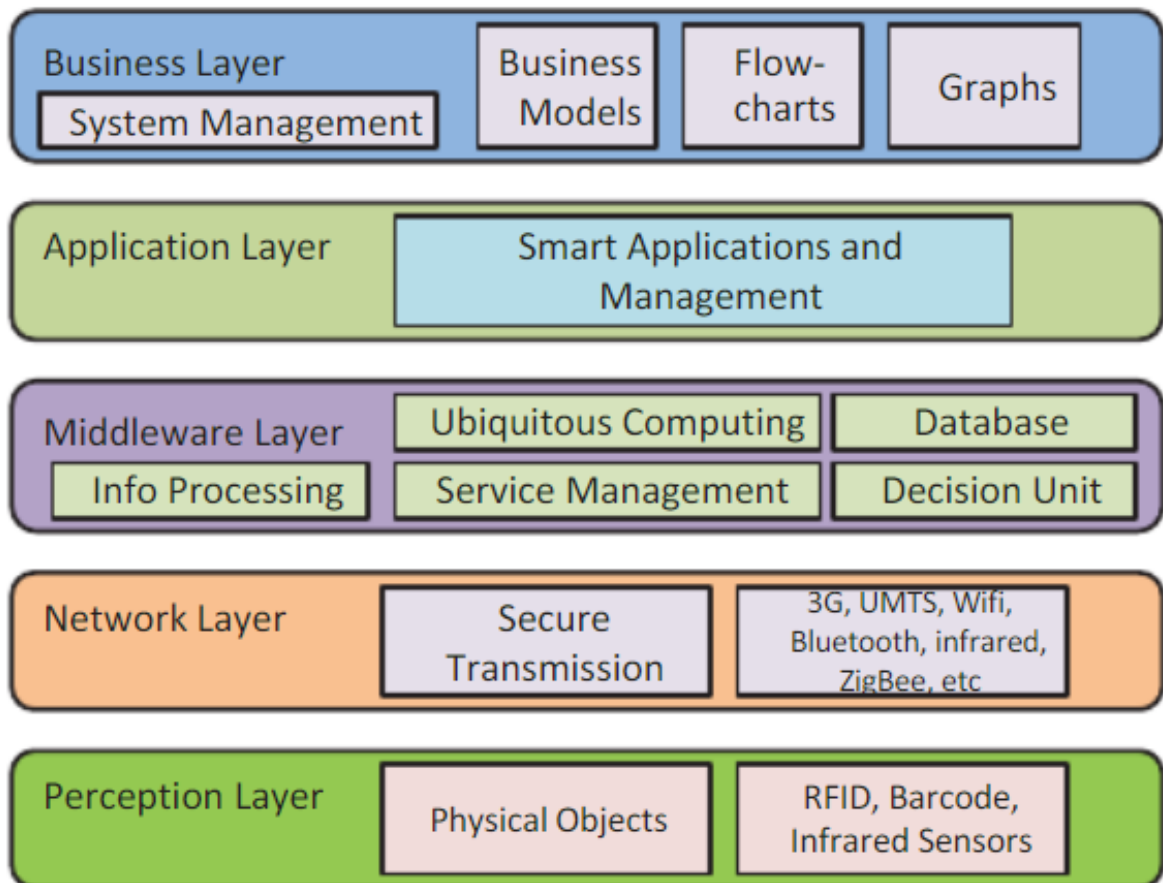


Figura 1: Arquitetura em camadas de Khan [1]

Buyya (2016), que explora um conjunto bastante semelhante de camadas, indica que o processamento central dos dados coletados deve acontecer, preferencialmente, num servidor remoto. Esse padrão arquitetural é vantajoso devido à sua alta disponibilidade, capacidade de armazenamento e escalabilidade do serviço.

2.2 Design Science Research

Conforme mencionado por Wieringa (2014), a Design Science Research (DSR) é um campo de pesquisa da interação entre artefatos em contextos de problemas. O pesquisador em DSR deve se preocupar com a definição desses artefatos, sua aplicação na resolução de problemas do mundo real (Design Problems) e na geração e documentação de novo conhecimento científico (Knowledge Questions). Além disso, a área propõe padrões de solução para problemas de construção de sistemas, analisando diferentes perspectivas, por meio do uso de Design Frameworks.

Esses Design Frameworks oferecem uma estrutura para o desenvolvimento e a análise de soluções em DSR. Eles fornecem diretrizes, modelos e padrões que auxiliam os pesquisadores a projetar, implementar e avaliar os artefatos criados como parte da pesquisa. Ao seguir um Design Framework, os pesquisadores podem ter uma abordagem sistemática e abrangente, considerando diversos aspectos relevantes para o projeto e a implementação de sistemas.

A pesquisa em DSR busca não apenas criar artefatos eficazes, mas também gerar conhecimento científico que contribua para o avanço da disciplina. Os pesquisadores em DSR estão envolvidos em investigações empíricas, aplicando os artefatos criados em contextos reais para testá-los e avaliá-los. Essa abordagem permite que a pesquisa em DSR seja prática, orientada para a solução de problemas reais e para a criação de valor tanto para a academia quanto para a indústria.

2.2.1 História

Os primeiros avanços nesse campo foram obtidos por Simon (1969), que afirma que a Design Science é a base epistemológica do estudo do artificial, o que ele define como sendo tudo que foi inventado ou é replicável pelo ser humano. Ele foi um dos primeiros a argumentar que o design de sistemas ou soluções é uma forma de conhecimento científico, baseado na criação de artefatos com a intenção de alcançar objetivos desejados.

Hevner (2004) propôs o modelo do processo de pesquisa em Design Science (Design Science Research Process Model). Esse modelo estabelece uma estrutura para a condução da pesquisa em Design Science, dividindo-a em seis atividades principais: identificação do problema, definição dos objetivos da solução, design e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação. O modelo de Hevner foi amplamente adotado pela comunidade acadêmica e serviu como uma referência importante para pesquisadores em Design Science.

Wieringa (2014) contribuiu para o campo da pesquisa em Design Science por meio do desenvolvimento do Framework de Design Science. Esse framework fornece uma estrutura abrangente para a realização de pesquisas em Design Science, incorporando as atividades propostas por Hevner, bem como a inclusão de diretrizes específicas para a criação de artefatos de design, sua avaliação e validação. O Framework de Design Science de Wieringa tornou-se uma referência importante para pesquisadores que buscam orientações detalhadas sobre como conduzir estudos em Design Science.

2.2.2 Artefato

Wieringa (2014) explica que um artefato é todo recurso, físico ou virtual, que possua propósito, características e ambiente definidos. É possível compreender, dessa forma, que os artefatos são construídos para executar tarefas em contextos específicos a partir de conhecimentos empíricos do ambiente no qual estão inseridos. A caracterização dos artefatos é relevante para que o desenvolvedor possa compreender todas os parâmetros que rodeiam um determinado recurso disponível.

Hevner (2004), que buscou aprimorar o rigor das teorias anteriores, propôs uma metodologia de planejamento e desenvolvimento de artefatos, com uma abordagem cíclica de estudo dos problemas. Nesse método, o ciclo de design procura buscar o máximo de informações do ambiente via análise de requisitos e teste do sistema, ao mesmo tempo que procura informações do conhecimento científico e fundamentação teórica. O ciclo faz a junção dessas duas bases de conhecimento, teórica e empírica, para construir artefatos que atendam às necessidades da aplicação ao mesmo tempo que construam mais conhecimento científico.

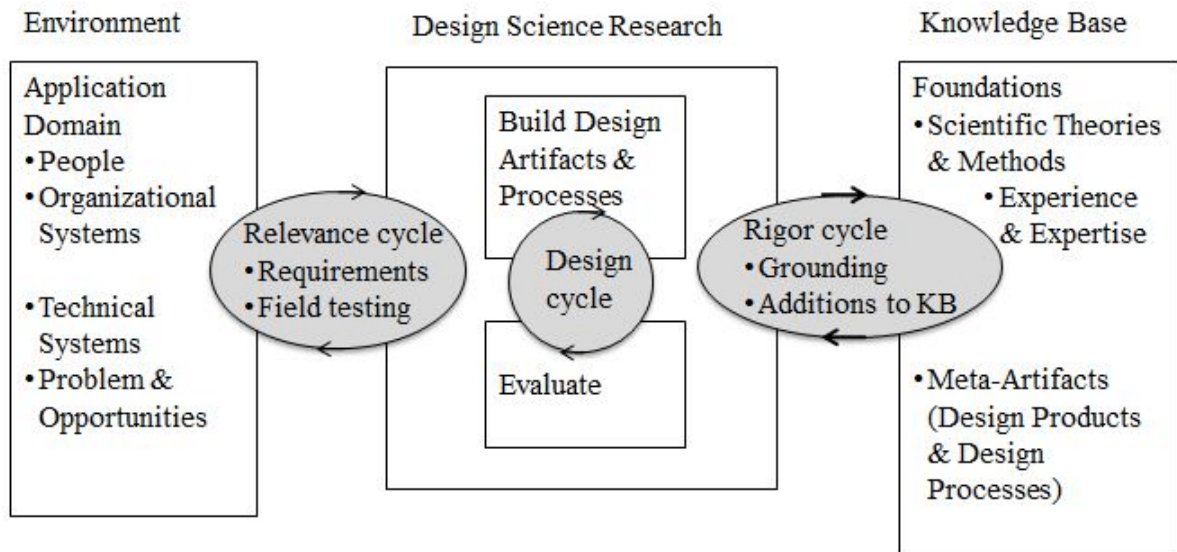


Figura 2: Ciclo de pesquisa de Hevner [2]

Wieringa (2014), assim como seu antecessor, afirma que o estudo dos artefatos num contexto é cíclico. Esse método permite que o contexto do problema observado seja constantemente melhorado, com a solução de novos problemas e obtenção de conhecimento.

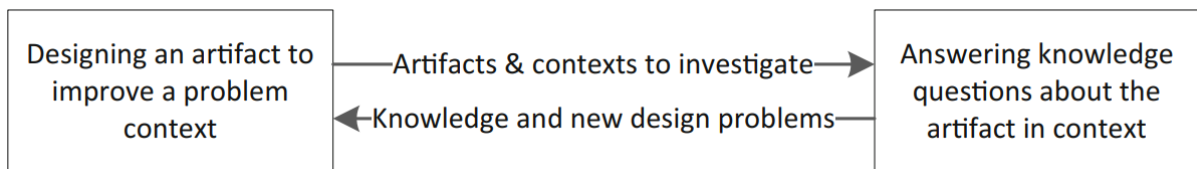


Figura 3: Ciclo de pesquisa de Wieringa [3]

2.2.3 Design Problems

Para Wieringa (2014), Design Problems são definidos pelos objetivos finais de uma aplicação. Eles guiam a forma como os artefatos devem ser construídos para que ocorra uma melhoria efetiva no contexto do problema. Deve-se analisar os requisitos dos beneficiários para que a aplicação seja de fato favorável. Sua construção envolve a explicitação dos seguintes elementos:

1. Melhorar: define o contexto do problema que será melhorado.
2. por: define os métodos utilizados para melhoria do contexto.
3. satisfazendo: define os requisitos funcionais e não-funcionais da aplicação.

4. para: define o objetivo final da aplicação, e como ela ajudará no contexto.

É importante ressaltar que a solução para esses problemas geralmente não é única, pois satisfaz somente um conjunto específico de requisitos. A flexibilidade das soluções permite que diferentes abordagens sejam consideradas e adaptadas para alcançar os objetivos desejados. Dessa forma, a pesquisa em Design Science busca explorar e desenvolver soluções criativas e eficazes, levando em consideração as necessidades e expectativas dos usuários.

2.2.4 Knowledge Questions

De acordo com Wieringa (2014), além dos Design Problems, outro elemento central na pesquisa em Design Science é o conceito de Knowledge Questions. As Knowledge Questions referem-se ao conhecimento necessário sobre a realidade e o contexto nos quais uma aplicação será desenvolvida. As perguntas são formuladas de maneira a buscar respostas empíricas e inflexíveis, exigindo a coleta e análise de dados reais.

As Knowledge Questions são fundamentais para orientar a pesquisa em DSR, pois ajudam a definir as questões que precisam ser respondidas para a aquisição de novo conhecimento científico. Elas abrangem diferentes aspectos relacionados ao problema em estudo, como a compreensão dos requisitos do usuário, a análise das limitações e restrições do ambiente, a identificação de oportunidades de melhoria e a avaliação do impacto das soluções propostas.

Ao formular as Knowledge Questions, os pesquisadores devem buscar clareza e especificidade, garantindo que as questões sejam bem definidas e que possam ser abordadas de maneira empírica. Isso envolve a definição de medidas, métricas e indicadores relevantes para coletar os dados necessários. As Knowledge Questions são orientadas para a obtenção de informações concretas e baseadas em evidências, contribuindo para a construção de um corpo de conhecimento sólido na área de estudo.

2.2.5 Design Frameworks

Linington (2011) explica que uma *arquitetura* se define pelos princípios gerais sob os quais um sistema foi construído, enquanto um *framework* se define pela capacidade da arquitetura de derivar e apoiar o desenvolvimento de famílias de sistemas futuros. Um Design Framework é, portanto um conjunto de princípios e recomendações que orienta os pesquisadores em todas as fases do processo de pesquisa em DSR, desde a identificação e

formulação dos problemas de design até a avaliação e validação das soluções propostas. Ele oferece uma estrutura conceitual que ajuda a organizar o pensamento, a tomar decisões e a projetar artefatos de forma consistente e coerente.

O objetivo principal de um Design Framework é fornecer uma base sólida para a criação e avaliação de artefatos em DSR, considerando uma variedade de aspectos relevantes. Esses aspectos podem incluir requisitos do usuário, restrições tecnológicas, considerações éticas, viabilidade econômica, entre outros. Ao seguir um Design Framework, os pesquisadores têm uma abordagem estruturada e orientada por melhores práticas, facilitando a condução da pesquisa e garantindo a qualidade das soluções propostas.

Um Design Framework pode ser composto por diferentes componentes, como modelos conceituais, técnicas de projeto, diretrizes de implementação, critérios de avaliação e métricas de desempenho. Esses componentes são desenvolvidos com base no conhecimento existente na área e na experiência prática acumulada ao longo do tempo. Eles ajudam os pesquisadores a tomar decisões informadas, a identificar problemas potenciais e a evitar armadilhas comuns durante o processo de design.

Wieringa (2014) estabelece um possível framework para o desenvolvimento de aplicações com conhecimento científico:

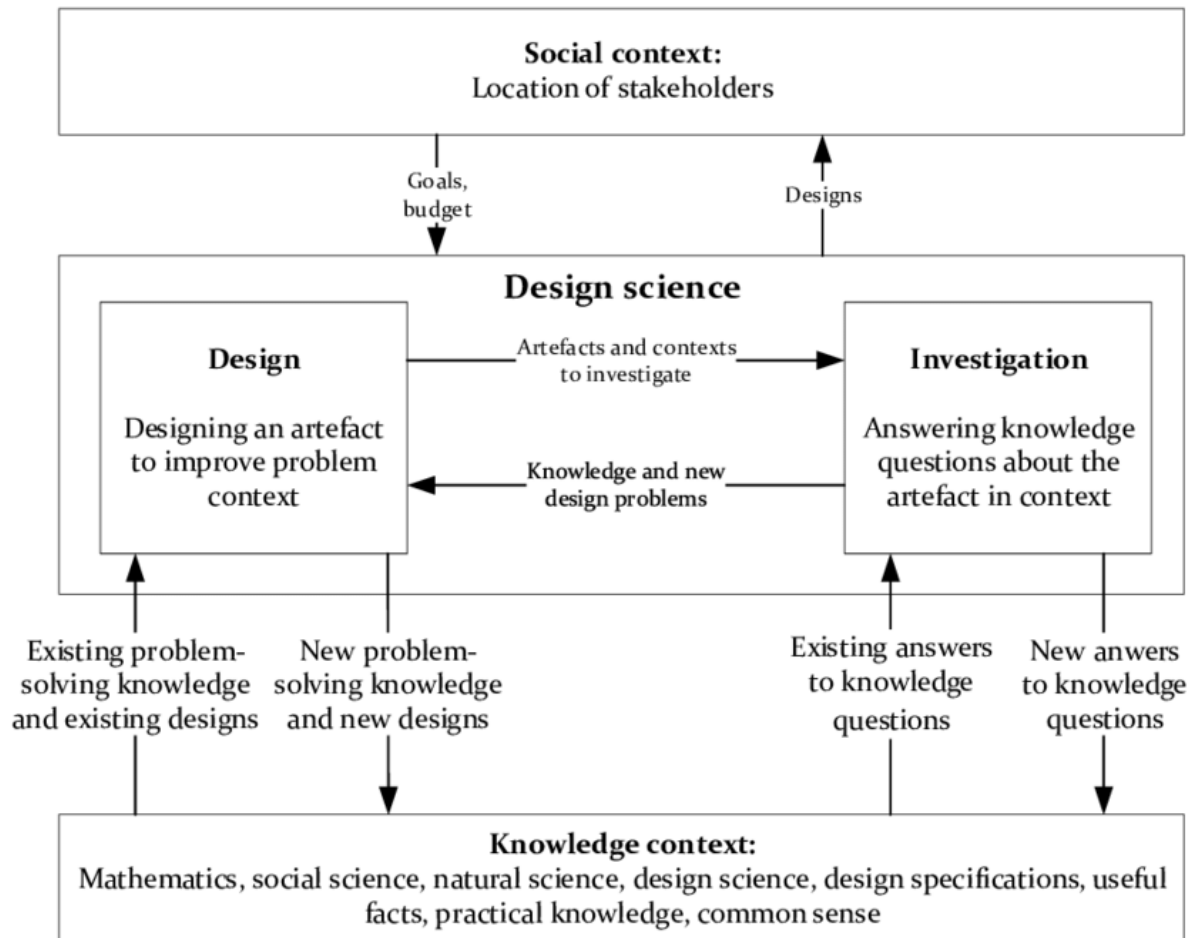


Figura 4: Design Framework proposto por Wieringa [3]

2.2.6 RM-ODP

Linnington (2011) propõe o uso do Reference Model for Open Distributed Processing, um Design Framework capaz de documentar sistemas distribuídos de média ou alta complexidade. Este framework possui como principal característica a introdução do conceito de *pontos de vista*. A justificativa para separar requisitos em diferentes pontos de vista vem de reusabilidade de componentes e aceitação dos artefatos por múltiplos times de desenvolvimento.

O autor expõe os pontos de vista relevantes para o desenvolvimento de um sistema RM-ODP:

- **Empreendimento:** define os objetivos, regras do negócio e requisitos não-funcionais do sistema. Se concentra no contexto organizacional e social da aplicação, e procura evidenciar o ganho que o sistema trará aos seus donos.

- Informação: define quais informações e dados serão coletados, armazenados e manipulados pela aplicação. Se concentra em garantir que as informações sejam igualmente interpretadas por todos os demais pontos de vista.
- Computação: define os componentes de software utilizados na implementação da solução proposta. Se concentra em organizar e documentar quais métodos e objetos computacionais serão utilizados na implementação dos algoritmos.
- Engenharia: define quais dispositivos computacionais serão necessários para suportar a aplicação da melhor forma possível. Se concentra também nas transparências e redundâncias necessárias para que a aplicação funcione de forma confiável.
- Tecnologia: define as restrições de hardware disponíveis, além da escolha do método de comunicação entre as máquinas. Se concentra na alocação de recursos e tecnologias reais utilizadas na implementação da solução.

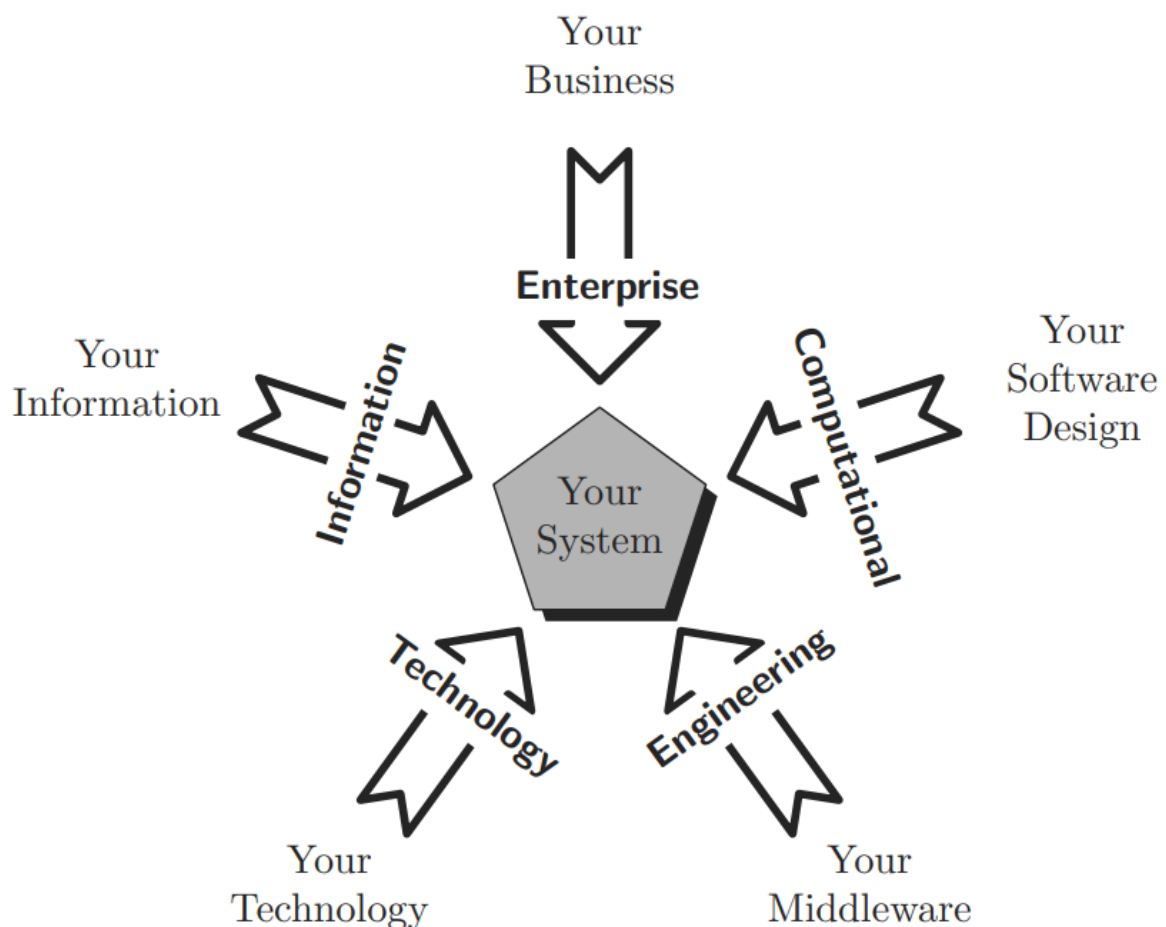


Figura 5: Pontos de vista de Linington [4]

3 METODOLOGIA

3.1 Design Framework

Para a implementação e documentação do projeto, decide-se utilizar a abordagem proposta por Wieringa (2014). O método envolve dois ciclos principais: o de Design e o Empírico.

O projeto da solução será feito de acordo com o desenvolvimento do ciclo de Design. Essa fase envolve, além da elaboração dos Design Problems, três etapas principais: investigação do problema, proposta de design e validação do design proposto. A implementação da solução, por sua vez será feita de acordo com o desenvolvimento do ciclo Empírico. Essa fase envolve, além da elaboração das Knowledge Questions, a análise, execução e teste da solução planejada.

3.2 ABNT NBR ISO 50001

A norma ABNT NBR ISO 50001 requer o estabelecimento de metas mensuráveis e alcançáveis para a redução do consumo de energia, bem como a implementação de planos de ação específicos para atingir essas metas por parte das instituições. É crucial que o produto desenvolvido envolva todos os níveis da organização, desde a gerência até os funcionários operacionais, fornecendo dados relevantes para a conscientização e treinamento sobre práticas eficientes de uso de energia.

O guia de implementação da norma define a revisão energética como a principal etapa do planejamento de consumo energético de um estabelecimento. Deve ser elaborada pela gerência uma análise sistemática e periódica de gastos e desempenhos. A equipe deve utilizar esses dados para conhecer os padrões de uso e deficiências dos sistemas utilizados na operação da companhia. Esse processo é dividido em quatro etapas:

3.2.1 Levantamento dos Dados

Para que o hotel possa iniciar um projeto de melhoria do seu desempenho energético, deve inicialmente levantar os dados históricos de forma consistente e organizada. Uma forma eficiente de escolher quais dados devem ser salvos é utilizar as questões anteriormente levantadas pela norma.

No contexto do setor hoteleiro, percebe-se que é relevante armazenar as medições históricas, segregadas por quarto, categoria e hóspede. Para uma análise profundamente detalhada, poderia-se separar também os dados por quarto ou equipamento de uso comum.

Devem ser levantados também os dados e constantes relevantes à operação de um hotel. É importante coletar, por exemplo, o custo da energia elétrica no local, a matriz energética da rede que o alimenta e, conseqüentemente, a pegada de carbono emitida por unidade de energia.

3.2.2 Identificação dos USEs

USEs (Usos Significativos de Energia) são processos ou equipamentos com alto consumo relativo de energia. Neles costumam residir os maiores potenciais de redução de consumo e o oportunidades de melhoria de eficiência. USEs devem ser detectados através da observação de sistemas (iluminação, refrigeração, etc) em vez de equipamentos isolados, visto que a alteração de sistemas completos costuma expor uma melhor oportunidade de redução de custos.

A melhoria do desempenho de USEs pode também estar mais atrelado ao treinamento dos operadores dos sistemas do que ao equipamento em si. Isso ressalta a importância das políticas de planejamento e treinamento dos funcionários de um hotel.

USEs podem ser detectados observando o quanto um equipamento ou conjunto de equipamentos contribui para o total da carga elétrica realizada durante o período estudado.

3.2.3 Identificação de Oportunidades

Definidas as USEs, a gerência do hotel deve decidir quais equipamentos ou sistemas são realmente necessários para a operação. Os equipamentos essenciais podem ser substituídos por outros que possuam melhor tecnologia de consumo ou melhor redimensionados para as atividades a que se destinam.

Uma ampla gama de funcionários deve contribuir para identificar as oportunidades de melhora operacional, apresentando as atuais deficiências nos equipamentos que operam. As prioridades de otimização serão definidas com a análise de potencial de redução do consumo de energia, investimento necessário, dificuldade para implementação e riscos envolvidos.

3.2.4 Objetivos e Metas

Os IDEs (Indicadores de Desempenho Energético) são uma forma de quantificar melhorias causadas pelo planejamento estratégico do consumo elétrico de um estabelecimento. É recomendada a criação e monitoramento de uma IDE para cada USE previamente identificado. É comumente utilizada a razão entre a redução efetiva e a redução planejada como uma forma de metrificar o resultado dos esforços de um planejamento de consumo.

Um plano de ação deve conter os procedimentos necessários para que as metas estabelecidas sejam cumpridas. Estes devem alocar recursos, humanos ou financeiros, para o atingimento das metas previstas. Os objetivos e metas devem então ser constantemente avaliados.

3.3 MQTT

O *Message Queuing Telemetry Transport* é um protocolo de comunicação assíncrono máquina-a-máquina orientado a eventos. Se trata de um protocolo da camada de aplicação que utiliza TCP/IP como protocolos das camadas de transporte e rede, respectivamente. Sua principal vantagem reside no fato dos pacotes possuírem pequeno *overhead* (2 bytes, de acordo com a especificação) e consumo de banda, o que o torna ideal para a construção de aplicações nas quais o hardware disponível possui pouca capacidade de processamento e armazenamento.

A implementação do MQTT pode ser encontrada em bibliotecas para os mais diversos microcontroladores. A ampla comunidade e disponibilidade de ferramentas facilita o desenvolvimento de aplicações que utilizam esse protocolo.

3.3.1 Funcionamento

Uma rede MQTT é composta por clientes e um servidor central, chamado de broker. O broker é responsável por encaminhar as mensagens que está sendo enviadas para os destinatários interessados. Para isso, o protocolo funciona com uma topologia de publicações e subscrições. Os diversos clientes de uma rede MQTT devem, primeiramente, dizer ao broker quais são os tópicos que desejam se inscrever. Sempre que uma mensagem for enviada para um tópico, o broker irá repassá-la para todos os nós inscritos.

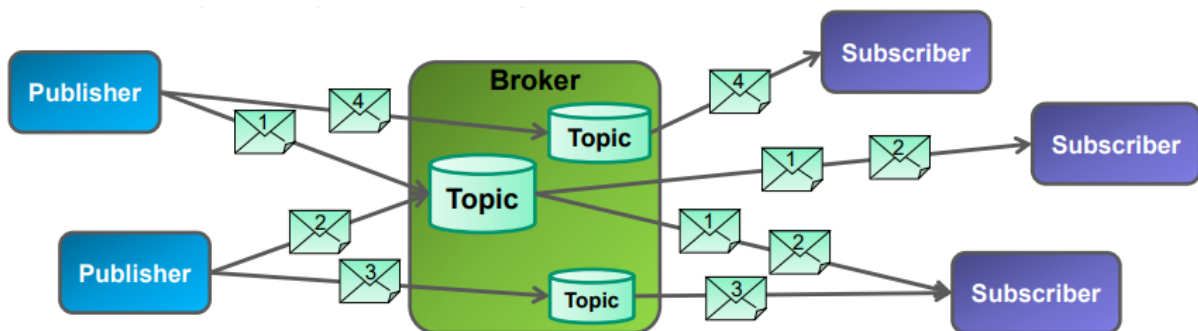


Figura 6: Topologia da rede MQTT [5]

O MQTT suporta também diferentes parâmetros de qualidade de serviço. Ao escrever um software que envia pacotes MQTT pela rede, o desenvolvedor da aplicação pode escolher entre:

1. Nenhuma garantia de que o pacote será entregue.
2. Garantia de que o pacote será entregue pelo menos uma vez.
3. Garantia de que o pacote será entregue exatamente uma vez.

A escolha que um parâmetro de QoS mais alto de irá resultar num maior consumo da banda, visto que haverá um aumento no overhead dos pacotes e que pacotes adicionais de reconhecimento (ACK) terão de ser transportados pela rede.

3.4 Docker

Docker é um programa responsável por fazer o gerenciamento de micro-serviços e ambientes de desenvolvimento. O uso da ferramenta neste projeto desempenha um papel fundamental na garantia da consistência, portabilidade e escalabilidade da infraestrutura

do software. Ao empacotar o aplicativo e suas dependências em contêineres Docker, é possível criar um ambiente isolado e auto-suficiente, independentemente do sistema operacional da máquina que irá hospedar o serviço completo. Isso simplifica significativamente a implantação e a gestão, garantindo que o aplicativo funcione de maneira consistente em ambientes de desenvolvimento, teste e produção. Além disso, a capacidade de dimensionar contêineres rapidamente em resposta à demanda permite uma infraestrutura ágil e eficiente. O Docker entrega a capacidade de manter os componentes do sistema facilmente atualizados e garantir que o projeto seja altamente disponível e resiliente.

3.5 Mosquitto

Mosquitto é um broker MQTT de código aberto desenvolvido com a linguagem de programação C/C++. Sua principal vantagem em relação à outros brokers reside no baixo custo computacional de sua execução, além de uma grande comunidade de desenvolvedores. O Mosquitto possui fácil configuração e uma imagem Docker oficial, pronta para uso.

3.6 paho-mqtt

A biblioteca paho-mqtt, da linguagem de programação Python, permite a criação e programação facilitada do comportamento de clientes MQTT. O cliente programado é capaz de estabelecer uma conexão com o broker MQTT e com bancos de dados externos, permitindo a captura e salvamento dos dados enviados pelos diversos dispositivos físicos da rede.

A flexibilidade oferecida pela biblioteca possibilita a escalabilidade do sistema, permitindo que múltiplos equipamentos se comuniquem simultaneamente com o servidor central. A integração da biblioteca agrega eficiência e confiabilidade ao projeto, permitindo o acompanhamento preciso e em tempo real do consumo de energia em diferentes áreas do hotel, facilitando a tomada de decisões informadas e a implementação de estratégias de aumento da eficiência energética.

3.7 Django

O framework Django, também da linguagem Python, fornece uma estrutura robusta e altamente flexível para o desenvolvimento de sistemas full-stack. Utilizando o framework, é possível criar um backend escalável e de alto desempenho que gerencia a lógica de negócios, interage com o banco de dados e disponibiliza uma API para a comunicação com o frontend. A segurança oferecida pelo Django, incluindo autenticação de usuários e proteção contra ameaças, garante a integridade dos dados e a confidencialidade das informações. O Django será utilizado para gerenciar o banco de dados da aplicação e exibir as páginas do dashboard elaborado no projeto.

3.8 PostgreSQL

O PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) relacional com capacidade de lidar com grandes volumes de dados de forma eficiente e confiável. A capacidade de expansão horizontal do PostgreSQL permite que o banco de dados cresça à medida que mais dados são adicionados, garantindo a escalabilidade necessária para acomodar um número crescente de quartos ou dispositivos de medição.

Sua capacidade de suportar transações ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento, Durabilidade) assegura a integridade dos dados, garantindo que as informações armazenadas sejam precisas e seguras. A capacidade de aproveitar recursos avançados, como índices eficientes, consultas complexas e funcionalidades geoespaciais, oferece flexibilidade na análise de dados.

3.9 Bintechnology JE05

A placa Bintechnology JE05 é utilizada para medir a potência da carga de uma área a partir da caixa elétrica. Possui conector para antena Wi-Fi e é capaz de fazer o envio de dados via protocolo MQTT, tornando-a adequada para a coleta de dados experimentais da rede elétrica.

4 REQUISITOS

4.1 Requisitos funcionais

O projeto de monitoramento de consumo de energia em um hotel visa fornecer uma solução abrangente para rastrear, analisar e otimizar o consumo de energia em várias áreas do estabelecimento. O sistema deve ser projetado para coletar, processar e exibir dados de consumo de energia em tempo real, permitindo que a gerência do hotel tome decisões informadas para reduzir custos e promover a eficiência energética.

O sistema deve ser capaz de coletar e atualizar os dados de consumo de energia de cada área, incluindo quartos, áreas comuns e serviços, em intervalos regulares. A capacidade de monitorar em tempo real é relevante, pois permitirá que a gerência identifique aumentos incomuns no consumo e tome medidas adequadas com maior agilidade.

O sistema deve ser elaborado para lidar com um número crescente de dispositivos de medição e áreas monitoradas, garantindo que possa ser facilmente escalado conforme o hotel expande suas operações.

4.2 Requisitos não-funcionais

A interface do sistema deve apresentar os dados ao usuário de forma intuitiva, com gráficos claros e informações acessíveis. Os usuários devem ser capazes de obter facilmente o consumo em tempo real em diferentes áreas do hotel e acessar análises de consumo. Assim, o sistema deve ser capaz de gerar relatórios sobre o consumo de energia, permitindo que a gerência do hotel avalie tendências, identifique áreas de alto consumo e tome decisões estratégicas para otimização.

O sistema deve ser projetado para ser facilmente integrado com sistemas de gerenciamento de propriedades (PMS) existentes e outras soluções de automação hoteleira, garantindo uma experiência coesa para os usuários. A segurança dos dados é também

fundamental. O sistema deve implementar medidas robustas de segurança, garantindo a privacidade das informações do hotel e dos hóspedes.

A combinação de análises avançadas e visualizações claras deve permitir que a gerência do hotel tome decisões informadas e implemente estratégias eficazes para reduzir o consumo de energia, minimizar custos e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

4.3 Requisitos ABNT NBR ISO 50001

O conjunto de normas definidos pela ABNT, em respeito às normas internacionais, é um conjunto de requisitos não-funcionais, e sugere que os estabelecimentos brasileiros possuam políticas internas de diagnóstico, melhoria e controle dos gastos energéticos. A metodologia estabelecida pela ISO indica que o controle de gasto energético de uma organização deve ser sistematizada nos seguintes passos:

1. Planejamento: Estabelecer uma política energética, identificar aspectos energéticos significativos, estabelecer metas e desenvolver planos de ação para melhorar a eficiência energética.
2. Implementação: Implementar os planos de ação, educar e treinar funcionários, além de comunicar eficazmente as iniciativas energéticas para todas as partes interessadas.
3. Monitoramento: Monitorar continuamente o desempenho energético, medir os resultados em relação às metas estabelecidas e conduzir auditorias internas para garantir a conformidade com os requisitos da norma.
4. Revisão: Revisar periodicamente o sistema de gestão de energia, identificar oportunidades de melhoria e implementar ações corretivas para aumentar a eficácia do sistema.

O projeto busca agir, especificamente, sob o passo de planejamento. A norma define, nesta etapa, um conjunto de questões a serem respondidas. São exemplos:

1. Quanta energia é consumida na organização?
2. Onde a energia está sendo utilizada?
3. Quais indicadores podem ser utilizados para medir o desempenho energético?
4. Quais oportunidades existem para melhorar o desempenho energético?

5. Qual será o desempenho energético alcançado no futuro?
6. O que será feito para se alcançar os objetivos estabelecidos?

Os dados apresentados pelo dashboard devem ser úteis para a sistematização dessas soluções. Dessa forma, as questões levantadas e os demais passos do manual, aplicados ao setor hoteleiro, serão extensamente explorados e atuarão como balizadores no desenvolvimento do produto.

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 Projeto e Implementação

5.1.1 Investigação

No contexto do setor hoteleiro, a preocupação principal gira em torno da utilização ineficiente dos recursos energéticos no hotel. Os fenômenos que necessitam de melhoria abrangem o consumo excessivo de energia em diversas áreas, resultando em custos operacionais elevados e um maior impacto ambiental.

O consumo não controlado não apenas drena os recursos financeiros do hotel, mas também afeta seu compromisso com práticas sustentáveis e economia de energia. Esse problema é agravado pela falta de monitoramento em tempo real e ausência de estratégias para gerenciar eficazmente o consumo de energia. Assim, a investigação busca abordar essas questões por meio da implementação de uma solução abrangente de monitoramento e gerenciamento de energia.

5.1.2 Design

Uma possível solução do problema descrito envolve a elaboração dos seguintes artefatos:

1. Dispositivo físico de coleta de dados da rede elétrica a partir da caixa de disjuntores de cada quarto. Opera no contexto do sub-problema de coleta e envio dos dados. Usa como base de conhecimento a teoria desenvolvida nos campos da eletricidade e magnetismo.
2. Escutador do dispositivo físico (Digital Twin). Opera no contexto do sub-problema de conexão e tradução dos dados entre o dispositivo físico e o banco de dados. É responsável por facilitar o diálogo entre os dois artefatos adjacentes.

3. Banco de dados: Opera no contexto do sub-problema de armazenamento dos dados enviados pelo Digital Twin. Utiliza como base de conhecimento as teorias de gerência e software e dados.
4. Servidor de processamento dos dados. Opera no contexto do sub-problema de tratamento e exibição dos dados ao cliente final. Usa como base de conhecimento as técnicas de design de sistemas full-stack com banco de dados.

O design projetado, do ponto de visto dos artefatos, pode ser representado pela figura abaixo. Percebe-se que os dados são armazenados e tratados pelo servidor antes de serem requisitados pelo usuário final. Cada artefato deve operar em seu sub-problema para que os dados sejam adequadamente acessados pelo cliente.

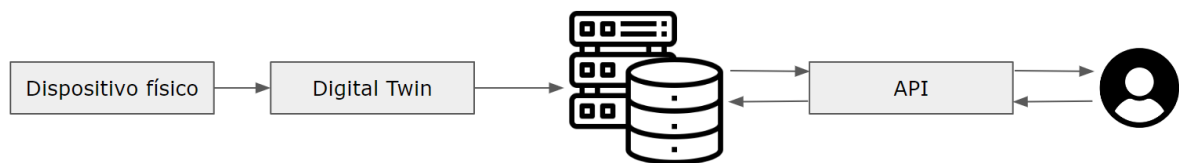


Figura 7: Abstração do design, autoria própria

5.1.3 Arquitetura

O mesmo design pode ser abstraído por uma arquitetura em camadas, de acordo com o modelo para aplicações IoT de Khan.

1. Percepção: Um conjunto de dispositivos físicos é responsável pela coleta de dados da rede elétrica, através da sua instalação em quadros de energia. No contexto do projeto, evidenciam-se as placas Bintechnology JE05. Essa tecnologia é responsável pela coleta física dos dados e encaminhamento para as camadas superiores.
2. Rede: A comunicação entre a camada de percepção e o resto do sistema se dá através da rede Wi-Fi já existente no estabelecimento. Os dispositivos físicos constam com credenciais de autenticação necessárias para a conexão com o broker MQTT. A transmissão dos dados é protegida por TLS, prevenindo que os mesmos sejam capturados por invasores.
3. Middleware: O servidor central de dados deve hospedar um broker MQTT, responsável pela conexão entre os dispositivos físicos e o banco de dados da aplicação.

Os dados obtidos são então enviados e armazenados num banco de dados, e podem ser acessados através de uma API. O middleware deve cuidar para que essa integração seja feita de forma confiável, mesmo que fora da vista do usuário.

4. Aplicação: O dashboard desenvolvido utiliza técnicas de design e frontend para a exibição dos dados. São utilizados cartões informativos e bibliotecas do JavaScript próprias para a exibição de gráficos
5. Negócio: Os dados escolhidos para aparecerem no dashboard devem ser relevantes para a tomada de decisões informadas por parte do time de negócios. Por isso, devem ser exibidos gráficos informativos de consumo acumulado e curva de carga, além de páginas que permitam a comparação entre categorias de cômodos e períodos.

Seguindo o modelo anteriormente citado, pode-se esquematizar a arquitetura de acordo com a figura abaixo. Os dados, conforme sobem nas camadas, são tratados com o objetivo de fornecer uma visão mais abstrata aos donos do negócio.

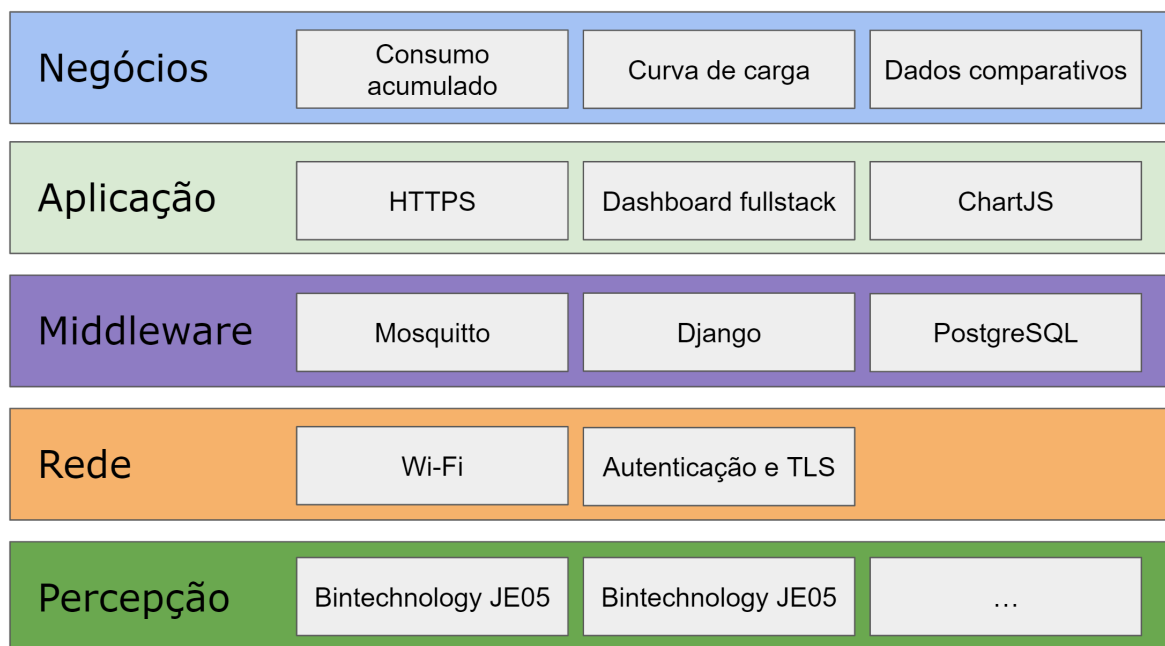


Figura 8: Arquitetura em camadas, autoria própria

5.1.4 Validação

A fase de validação envolve a avaliação dos designs proposto para determinar sua eficácia na solução do problema. No caso do sistema de monitoramento de energia, um ambiente simulado poderia ser usado para testar sua capacidade de capturar e exibir os

dados corretamente. Essas validações servem como um teste decisivo para determinar se os design está alinhado com os objetivos do projeto e têm o potencial de fornecer resultados tangíveis.

A avaliação descrita pode ser feita validando se, um a um, os Design Problems elaborados estão sendo devidamente atendidos. Esses problemas serão construídos a partir dos requisitos do projeto. Deve-se analisar como cada artefato elaborado contribui para o objetivo final.

5.1.4.1 Capacidade de operações com dados

Dispositivo Físico de Coleta de Dados da Rede Elétrica: Primeira etapa para adquirir os dados, coletando informações diretamente da caixa de disjuntores de cada quarto. Isso garante a obtenção de dados em tempo real e fornece a base para todas as operações subsequentes.

Escutador do Dispositivo Físico (Digital Twin): Age como um elo de conexão inteligente entre o dispositivo físico e o banco de dados. Essa camada de tradução e comunicação é essencial para garantir que os dados coletados sejam compreensíveis e utilizáveis pelo sistema.

Banco de Dados: Repositório central onde os dados são armazenados. Permite uma ampla gama de operações com dados, como consulta, agregação, análise histórica e recuperação.

Servidor de Processamento dos Dados: Responsável por operações avançadas com dados, como análise, geração de relatórios e apresentação aos usuários finais. A capacidade de processar e analisar dados em tempo real ou em lotes é essencial para atender às demandas do projeto.

5.1.4.2 Escalabilidade do sistema

Dispositivo Físico de Coleta de Dados da Rede Elétrica: Pode ser replicado e instalado em múltiplos quartos, permitindo que o sistema se expanda conforme necessário para acomodar mais quartos e áreas do hotel sem afetar adversamente o desempenho.

Escutador do Dispositivo Físico (Digital Twin): À medida que o número de dispositivos físicos aumenta, mais instâncias do Digital Twin podem ser implantadas, garantindo uma transição suave e escalonável.

Banco de Dados: Pode ser dimensionado verticalmente ou horizontalmente para lidar com volumes crescentes de dados.

Servidor de Processamento dos Dados: Pode ser dimensionado verticalmente ou horizontalmente à medida que a complexidade das operações com dados e a carga de processamento aumentam. Isso permite que o sistema continue a fornecer resultados rápidos e precisos, mesmo à medida que a escala cresce.

5.1.4.3 Facilidade do uso do sistema

Dispositivo Físico de Coleta de Dados: A coleta de dados diretamente da caixa de disjuntores simplifica a instalação e minimiza a intervenção manual. Isso contribui para a facilidade de uso, uma vez que não são requeridos procedimentos complexos para configurar o sistema nos quartos.

Escutador do Dispositivo Físico (Digital Twin): O uso de um Digital Twin como intermediário simplifica a tradução e comunicação de dados. Os detalhes técnicos do dispositivo físico são encapsulados, tornando mais fácil para os desenvolvedores e operadores entenderem e interagirem com o sistema.

Banco de Dados: A armazenagem dos dados de maneira estruturada e organizada facilita a recuperação e a análise posterior. Isso é crucial para garantir que os dados sejam facilmente acessíveis para tomada de decisões informadas e geração de relatórios.

Servidor de Processamento dos Dados: A apresentação dos dados aos usuários finais de maneira acessível e compreensível é fundamental para a facilidade de uso. A capacidade de processar e apresentar informações de forma clara e intuitiva torna o sistema amigável para não apenas especialistas, mas também para funcionários do hotel que podem não ter conhecimento técnico.

5.1.5 Implementação

Levando em consideração os requisitos, normas e design proposto, elabora-se um produto de software que busca auxiliar a gerência do hotel a rastrear ineficiências operacionais, bem como analisar se o consumo é parecido com o que foi anteriormente planejado.

5.1.5.1 Configuração da placa

A configuração do sistema físico de prototipagem desenvolvido para a coleta dos dados de consumo consiste da montagem de um hardware físico e da instalação de um software capaz de enviar os dados para o MQTT broker especificado. Para os testes de coleta e transmissão com dados reais, utilizou-se uma placa instalada numa sala de laboratório com consumo controlado. A placa estava configurada para enviar os dados para um broker hospedado no próprio laboratório e acessível de qualquer local da internet.

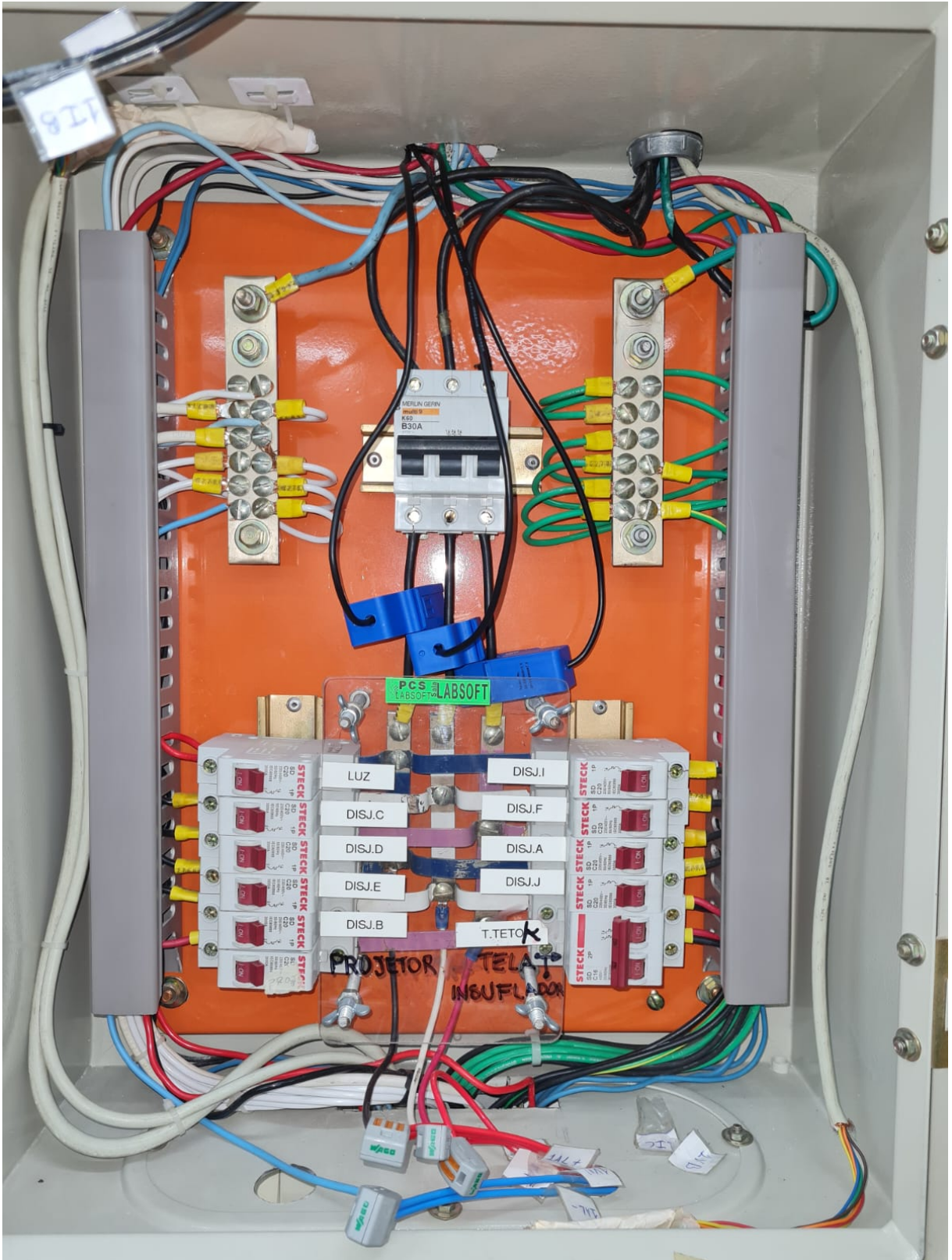


Figura 9: Instalação da placa, autoria própria

5.1.5.2 Especificação do Banco de Dados

O banco de dados do sistema foi desenvolvido utilizando a API do Django para PostgreSQL. Essa decisão de design se dá pela agilidade no desenvolvimento, ampla comunidade de desenvolvedores e correteza da documentação oferecida por ambas as ferramentas.

As tabelas existentes no sistema foram projetadas para serem amplamente escaláveis com o crescimento do número de hotéis, categorias e quartos administrados por uma empresa de hotelaria. Os dados a serem armazenados foram escolhidos seguindo a metodologia definida pelas normas internacionais.

As informações que serão armazenadas no banco de dados podem ser representadas a partir do seguinte diagrama Entidade-Relacionamento:

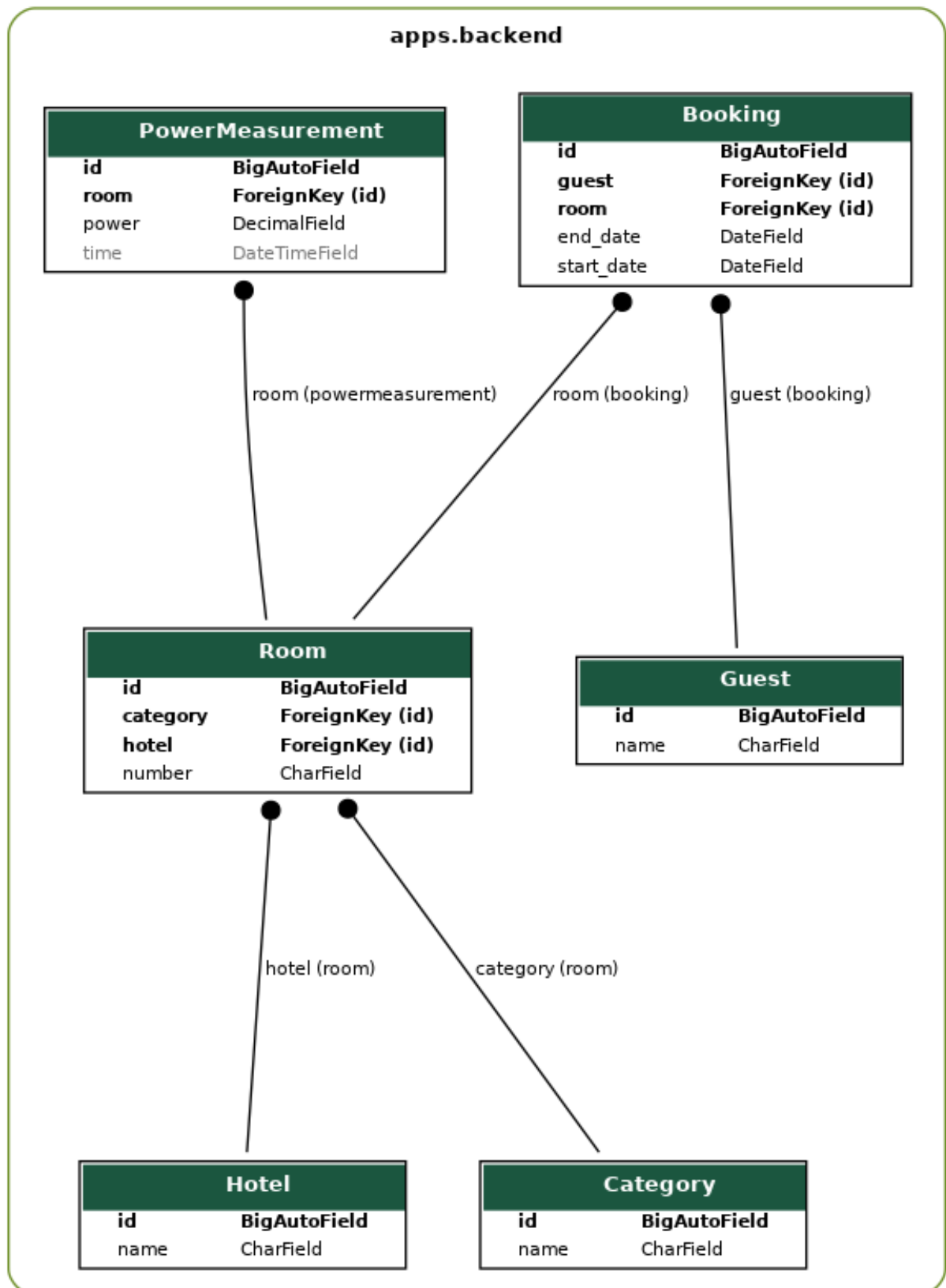


Figura 10: Diagrama Entidade-Relacionamento, autoria própria

5.1.5.3 Resumo Geral

A primeira página do dashboard construído reúne informações gerais sobre o consumo de energia dos quartos de um único hotel, como quanta energia foi consumida na totalidade do hotel ao longo do período e as datas de maior e menor consumo. O usuário deve informar ao sistema:

1. Nome do hotel de interesse.
2. Data de início do período de interesse.
3. Data final do período de interesse.

O sistema retorna ao usuário:

1. Consumo total do hotel no período.
2. Variação do consumo, em percentual, comparado ao período de igual duração anterior.
3. Data de maior consumo.
4. Data de menor consumo.
5. Gráfico do consumo acumulado no período.
6. Curva de carga do período

5.1.5.4 Gasto por categoria

A secção de gasto por categoria permite ao usuário observar quanta energia foi consumida por cada categoria de cômodos ou equipamentos (quartos, corredores, cozinhas, etc) em um determinado período. O usuário deve informar ao sistema:

1. Nome do hotel de interesse.
2. Categoria de interesse.
3. Data inicial do período de interesse.
4. Data final do período de interesse.

O sistema retorna ao usuário:

1. Consumo total da categoria no período.
2. Variação do consumo, em percentual, comparado ao período de igual duração anterior.
3. Data de maior consumo.
4. Data de menor consumo.
5. Gráfico do consumo acumulado no período.
6. Curva de carga do período

5.1.5.5 Gasto por período

A página de gasto por período permite ao operador comparar dois períodos distintos, selecionando o hotel de interesse e as datas limites dos períodos de consulta. O usuário deve informar ao sistema:

1. Nome do hotel de interesse.
2. Data inicial do primeiro período de interesse.
3. Data final do primeiro período de interesse.
4. Data inicial do segundo período de interesse.
5. Data final do segundo período de interesse.

O sistema retorna ao usuário:

1. Gráfico da potência realizada em ambos os períodos, de forma comparativa.

5.1.5.6 Gasto por hóspede

A página de gasto por hóspede permite à recepção do hotel segregar o consumo de cada hóspede individualmente durante o período de estadia. É possível visualizar o quanto o hóspede consumiu durante o período no qual locou o quarto. O usuário informa ao sistema apenas o identificador do hóspede da consulta, e o sistema retorna, relativamente à última estadia:

1. Consumo total do hóspede no período.
2. Data de maior consumo.
3. Data de menor consumo.
4. Gráfico do consumo acumulado no período.
5. Curva de carga do período

5.2 Testes e Avaliação

Por se tratar de um sistema com backend e frontend, o produto implementado pode ser testado em duas etapas distintas. A primeira abrange os requisitos de unidade e integração, e seu objetivo é garantir que não haja problemas de comunicação entre as unidades funcionais desenvolvidas. A segunda deve avaliar se os requisitos de usabilidade estão sendo atendidos, através da interação entre usuário e sistema.

5.2.1 Unidade e Integração

Os testes de integração buscam validar se os dados coletados pela placa estão sendo adequadamente coletados, transmitidos, armazenados no banco de dados e exibidos para o usuário. É essencial que a integração de todos os componentes esteja funcionando, e por isso devem ser utilizados dados reais para compor o escopo dos testes aqui feitos.

5.2.1.1 Coleta

A coleta dos dados pode ser testada avaliando se as mensagens enviadas pela placa estão sendo devidamente recebidas e tratadas pelo Digital Twin. Com a placa configurada, envia-se dados para o MQTT broker. No Digital Twin, adicionando uma instrução que imprime qualquer mensagem recebida, observa-se:

```
1  {"DATA": {"VARMS": 131, "VBRMS": 131, "VCRMS": 131, "IARMS": 10, "
    IBRMS": 18, "ICRMS": 106, "VABRMS": 227, "VBCRMS": 228, "
    VCARMS": 227, "VABCTRMS": 227, "PA": 56, "PB": 77, "PC": 1333, "
    PT": 1466, "QA": -106, "QB": -200, "QC": 65, "QT": -241, "SA": 11
    9, "SB": 214, "SC": 1334, "ST": 1485, "FPA": -470, "FPB": -359, "
    FPC": 999, "FPT": -987, "KVARHA": -570257, "KVARHB": -1225763
    , "KVARHC": -489642, "KVARHT": -2285661, "KWHA": 705016, "
```



```
KWHB " : 812726 , " KWHC " : 3916125 , " KWHT " : 5433868 , " FREQ " : 5993
, " TEMP " : -32768 , " SERRS " : 0 , " WRSSI " : -29 , " UPTIME " : 105051 } }
```

Dentre as diversas variáveis coletadas da caixa elétrica, interessa para o produto final apenas a potência total, que é repassada para o banco de dados através da API do PostgreSQL.

5.2.1.2 Armazenamento

O armazenamento dos dados pode ser facilmente testado avaliando se os dados coletados estão visíveis e íntegros nas tabelas de dados correspondentes. Pode-se usar um cliente de banco de dados ou a própria interface do Django para observar os dados armazenados.



Figura 11: Dado salvo no banco de dados, autoria própria

Observa-se que o mesmo valor anteriormente lido pela placa foi devidamente armazenado no banco de dados, sem sofrer alterações.

5.2.1.3 Exibição

A exibição dos dados, por fim, é avaliada ao comparar os dados armazenados nas tabelas com os dados exibidos nas abas do dashboard. Pode-se abrir a página de resumo geral, procurando verificar a coerência das informações.

Curva De Carga

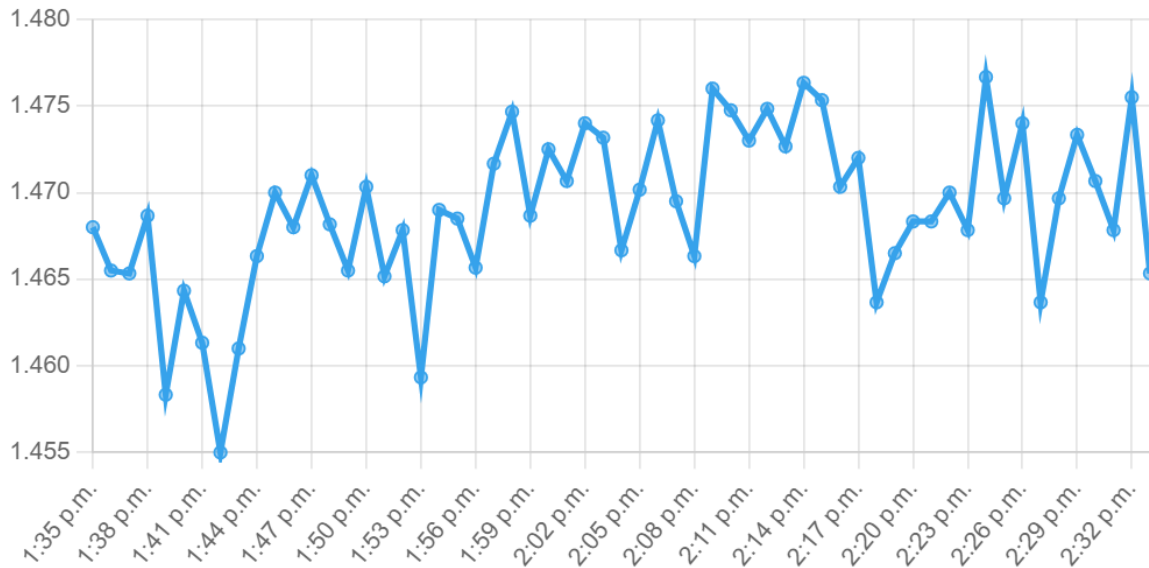


Figura 12: Dado sendo exibido pelo dashboard, autoria própria

Observa-se, portanto, que as informações coletadas pela placa física instalada foram transmitidas por todo o sistema de forma íntegra.

5.2.2 Funcionalidade e Desempenho

Os testes de desempenho devem validar a capacidade dos usuários de utilizar o dashboard para avaliar o consumo das áreas do hotel e tomar decisões informadas sobre políticas. O plano de testes para esta etapa consiste de avaliar se cada uma das páginas desenvolvidas fornece informações relevantes para que a gerência do hotel encontre soluções que se adequem às normas anteriormente citadas. Procura-se atacar, em cada teste, um ponto específico da norma ABNT NBR ISO 50001, buscando justificar os dados exibidos em cada página e trazer informações pertinentes à adequação dos estabelecimentos. O método sugerido pela ISO traz uma série de questões balizadoras do planejamento, e deve-se validar se os dados exibidos de alguma forma auxiliam em suas soluções.

Deve-se também analisar a facilidade de uso do sistema, buscando que seu uso seja acessível até mesmo por operadores com menor conhecimento técnico da arquitetura desenvolvida. Para todas as páginas, procura-se que o operador seja capaz de obter todos os dados com um único formulário, minimizando o esforço requerido para a visualização das informações.

5.2.2.1 Resumo Geral

A interface apresentada possui como objetivo auxiliar o gerente a entender quanta energia é consumida na organização como um todo e quais os fatores que condicionam o consumo. É possível analisar, por exemplo, como o gasto energético evoluiu no decorrer das estações do ano, temporadas, campanhas de treinamento, etc.

Os dados são relevantes para indicar à gerência do hotel como se comporta o consumo energético do hotel em sua totalidade, e qual foi o impacto de novas políticas de planejamento.

As informações podem também ser utilizadas para realizar previsões sobre o consumo dos meses seguintes, gerando assim uma previsibilidade de gastos.

A página ajuda a responder à questão "Quanta energia é consumida na organização? Qual a tendência de consumo?", uma das questões a serem respondidas durante o planejamento energético de qualquer estabelecimento, de acordo com a ABNT NBR ISO 50001.

5.2.2.2 Gasto por categoria

Essa página é essencial na identificação dos USEs, como equipamentos ou áreas inteiras sem otimização alguma, onde estão as maiores economias potenciais. A separação dos cômodos em categorias deve ser feita de forma estratégica pela gerência do hotel para que os dados sejam mais simples de analisar.

Os operadores do sistema são capazes de inserir quantas distintas categorias quanto necessárias, para que cômodos possam ser sub-divididos em áreas ou até em equipamentos.

A página procura complementar a anterior, respondendo à questão "Como a energia está sendo utilizada?", visto que é capaz de segregar os dados em diferentes categorias de gasto para análise comparativa.

5.2.2.3 Gasto por período

O gasto por período é relevante para que a equipe do hotel possa realizar comparações entre os consumos de dois períodos distintos. Tal página é essencial para o monitoramento global das IDEs definidas, visto que a comparação entre períodos é uma forma eficaz de quantificar os resultados do planejamento, de acordo com as normas internacionais.

Essa análise permite também que sejam comparados, por exemplo, a evolução do

consumo entre dois períodos de mesma estação do ano, buscando assim a análise de tendências da rede de hotéis como um todo.

A página responde à questão "Quais fatores condicionam o consumo?", procurando auxiliar a gerência com a conexão entre períodos de maior consumo e eventos da rotina do hotel.

5.2.2.4 Gasto por hóspede

A página de gasto por hóspede é essencial para que a gerência do hotel possa criar políticas de estímulo do não desperdício. Os dados apresentados permitem à equipe saber qual foi o gasto de um hóspede durante a sua estadia.

A gerência do hotel pode usar esses dados para analisar a tendência de consumo dos hóspedes e criar programas de incentivo ao consumo sustentável. Podem ser adotadas, por exemplo, políticas de fidelidade para àqueles que mantiverem bons padrões de consumo.

As informações exibidas nessa página são menos relacionadas à adequação das normas diretamente, mas podem ser úteis para o planejamento de outras formas de conscientização dos hóspedes.

6 CONCLUSÃO

6.1 Conclusões do Projeto de Formatura

Entre os resultados atingidos, pode-se ressaltar a implementação bem-sucedida do sistema inicialmente proposto, com o atendimento de uma variedade de requisitos na norma ABNT NBR ISO 50001. Esse sistema não apenas oferece à gerência uma visão detalhada dos pontos de maior consumo, mas também proporciona uma base sólida para o planejamento e incremento da eficiência do estabelecimento como um todo. A integração das tecnologias de MQTT e banco de dados, juntamente com a aplicação de princípios de Design Science, permitiu a criação de uma solução robusta e inovadora.

Apesar disso, alguns objetivos inicialmente propostos não foram totalmente alcançados devido a limitações técnicas ou de segurança. Por exemplo, entre os objetivos inicialmente pensados para o produto, estava o sensoriamento e atuação de outras variáveis ligadas ao conforto do hóspede, como temperatura, iluminação e presença de gases inflamáveis nos quartos. Acredita-se que uma solução que controle também essas variáveis não é diretamente relacionada às normas exploradas durante o desenvolvimento do trabalho, e teria de ser feita de forma separada. Acredita-se também que o controle dessas variáveis pode ser considerada invasiva pelo cliente final, fazendo-o ser mais resistente contra a contratação dos serviços de um hotel com esse tipo de sistema.

Os requisitos planejados e validados para o projeto foram adequadamente atingidos, tornando o sistema desenvolvido útil para estabelecimentos que buscam melhorar a eficiência energética de um grande número de cômodos.

6.2 Contribuições

A equipe foi responsável por desenvolver um dashboard funcional para consulta dos dados armazenados. Isso incluiu a criação de uma interface de usuário, onde os usuários podem visualizar e analisar dados de consumo de energia de forma eficiente. A elaboração

do layout e escolha de gráficos informativos foram de autoria própria.

A equipe foi responsável também pela configuração da placa de coleta de dados. Esta configuração envolveu a integração dos sensores com a placa, sua instalação física, e a comunicação eficaz entre a placa e o banco de dados. A autoria da equipe neste aspecto foi essencial para garantir que o dispositivo físico estivesse operacional e coletando dados de maneira confiável.

Além disso, a equipe organizou o banco de dados de maneira eficiente e otimizada. Isso envolveu a definição de quais dados seriam armazenados e a estrutura de tabelas utilizada para tal. A expertise da equipe em gerenciamento de banco de dados foi crucial para garantir que os dados fossem armazenados de forma acessível e pronta para análises detalhadas.

6.3 Perspectivas de Continuidade

O projeto desenvolvido possui promissoras perspectivas de continuidade. O crescimento contínuo da indústria hoteleira e a crescente conscientização sobre eficiência energética traz uma demanda cada vez maior por soluções que ajudem a reduzir custos operacionais e a pegada de carbono. Isso pode criar incentivos para um mercado em expansão para a aplicação de tecnologias de monitoramento de energia.

À medida que as organizações buscam cada vez mais práticas sustentáveis, soluções de monitoramento de energia tornam-se não apenas uma opção interessante, mas uma necessidade para hotéis e empresas em geral. O projeto e suas perspectivas de continuidade, ao ajudar a reduzir o desperdício de energia, se alinham com essa tendência e, portanto, podem esperar uma demanda crescente à medida que a conscientização ambiental se aprofunda.

A integração de sensores mais avançados, algoritmos de aprendizado de máquina para previsões de consumo e implementação de soluções de automação inteligentes são algumas das maneiras pelas quais o produto pode ser incrementado e apresentar maior proposta de valor ao cliente final.

Além disso, a possibilidade de expandir a aplicação do projeto para outros setores, como edifícios comerciais, hospitais ou até mesmo residências, amplia ainda mais suas perspectivas de desenvolvimento futuras. A modularidade e a escalabilidade do design escolhido e implementado permitem fácil adaptação a diferentes contextos, proporcionando oportunidades significativas para expansão e aplicação de produtos semelhantes

em diversas áreas.

A contínua manutenção e atualização do sistema, juntamente com um suporte técnico eficaz, serão essenciais para que um produto do gênero possa ser bem-sucedido. Garantir que o seu projeto permaneça compatível com novas tecnologias e padrões garantirá não apenas a satisfação do cliente, mas também a relevância e competitividade a longo prazo do projeto de monitoramento de consumo de energia.

REFERÊNCIAS

- 1 KHAN, R. et al. Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. In: *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*. IEEE, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/fit.2012.53>).
- 2 HEVNER et al. Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, JSTOR, v. 28, n. 1, p. 75, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/25148625>).
- 3 WIERINGA, R. J. *Design Science Methodology for Information Systems and Software Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43839-8>).
- 4 LININGTON, P. F. et al. *Building Enterprise Systems with ODP*. Chapman and Hall/CRC, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b11151>).
- 5 EGLI, P. R. An introduction to mqtt, a protocol for m2m and iot applications. *Indigoo. com*, 2015. Disponível em: http://www.indigoo.com/dox/wsmw/1_Middleware/MQTT.pdf).
- 6 FOSSA, A. J.; SGARBI, F. A. Guia para aplicação da norma abnt nbr iso 50001 gestão de energia. *International Copper Association (ICA)*, 2017. Disponível em: <http://energif.mec.gov.br/images/materiais/materiais8.pdf>).
- 7 MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, Scientific Research Publishing, Inc., v. 03, n. 05, p. 164–173, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>).
- 8 EVANS, D. The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. 2011. Disponível em: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf).
- 9 LACERDA, F.; LIMA-MARQUES, M. Da necessidade de princípios de arquitetura da informação para a internet das coisas. *Perspectivas em Ciência da Informação*, FapUNIFESP (SciELO), v. 20, n. 2, p. 158–171, jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-5344/2356>).
- 10 ASHTON, K. That ‘internet of things’ thing. In: . [S.l.: s.n.], 2009.
- 11 BUYYA, R.; DASTJERDI, A. *Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/c2015-0-04135-1>).
- 12 SIMON, H. A. *The Sciences of the Artificial*. The MIT Press, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7551/mitpress/12107.001.0001>).

- 13 OASIS. *MQTT Version 3.1.1*. 2014. Disponível em: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.html>.
- 14 MERKEL, D. Docker: lightweight linux containers for consistent development and deployment. *Linux journal*, v. 2014, n. 239, p. 2, 2014.
- 15 LIGHT, R. A. Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol. *The Journal of Open Source Software*, The Open Journal, v. 2, n. 13, p. 265, maio 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21105/joss.00265>.
- 16 Django Software Foundation. *Django*. Disponível em: <https://djangoproject.com>.