



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

EDUARDO ALVES LIMA CALDAS

CHECKLIST PARA AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE EM DISPOSITIVOS
IOT COM FOCO EM CASAS INTELIGENTES

QUIXADÁ

2023

EDUARDO ALVES LIMA CALDAS

CHECKLIST PARA AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE EM DISPOSITIVOS IOT
COM FOCO EM CASAS INTELIGENTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Software
do Campus de Quixadá da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia de Software.

Orientadora: Profa. Dra. Rainara Maia Carvalho

QUIXADÁ

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C15c Caldas, Eduardo Alves Lima.
Checklist para avaliação da interoperabilidade em dispositivos iot com foco em casas inteligentes /
Eduardo Alves Lima Caldas. – 2023.
82 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá,
Curso de Engenharia de Software, Quixadá, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Rainara Maia Carvalho.
1. Internet das coisas. 2. Interoperabilidade. 3. Casas Inteligentes. 4. Lista de Checagem. I. Título.
CDD 005.1
-

EDUARDO ALVES LIMA CALDAS

CHECKLIST PARA AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE EM DISPOSITIVOS IOT
COM FOCO EM CASAS INTELIGENTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Software
do Campus de Quixadá da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia de Software.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rainara Maia Carvalho (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jefferson de Carvalho Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dr. Paulo Armando Cavalcante Aguiar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Deus, pelo dom da vida.

À minha Avó, Joana A. de Lima.

Aos meus pais, Rozelina e Izael.

À minha Orientadora, Dra. Rainara M. Carvalho.

Aos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço pelo dom da vida e por ter me proporcionado mais uma conquista.

A minha Avó e tia, Joana Alves de Lima e Antônia Alves de Lima. Obrigado pelo amor incondicional, ajuda, apoio nos momentos difíceis, dedicação e ensinamentos.

Aos meus pais, Rozelina Alves de Lima Caldas e Izael Caldas Teixeira. Obrigado por todo amor, carinho, ajuda, carinho e conselhos.

Aos meus amigos que tive a honra de conhecer e compartilhar momentos incríveis durante a minha graduação, gostaria de expressar minha profunda gratidão. Em especial, agradeço ao João Pedro, Rebeca Pedroso e Maryzangela Bessa por terem estado ao meu lado durante todos os momentos, contribuindo para esta conquista.

À Dra. Rainara Maia Carvalho, minha orientadora. Meu cordial obrigado por acreditar em mim, pela confiança, paciência, pela ajuda e apoio para com o meu crescimento profissional e pessoal.

Agradeço ao Dr. Jefferson de Carvalho Silva e Dr. Paulo Armando Cavalcante Aguilar, muito obrigado por aceitarem compor a banca de defesa. Agradeço pelo tempo dedicado, pelas contribuições e sugestões para o aprimoramento da pesquisa.

“O que não é definido não pode ser medido. O que não é medido não pode ser melhorado. O que não se melhora sempre se degrada.”

(William Thomson)

RESUMO

Com o avanço da tecnologia e o surgimento de novas necessidades, a sociedade vem buscando novas formas de suprir essas necessidades aderindo ao uso de dispositivos que permitem a criação de um ambiente inteligente, como é o caso das casas inteligentes. Diante dessa nova demanda, empresas buscam adotar novas tecnologias para garantir maior interoperabilidade entre os dispositivos, a fim de manter um funcionamento adequado entre os mesmos, permitindo aos seus usuários diversos benefícios como comodidade, segurança e automação. Com o aumento no número de dispositivos conectados e diversos fabricantes desenvolvendo tais dispositivos, surge inúmeros desafios, principalmente como tais dispositivos vão interagir entre eles, o tipo de comunicação adequado, entre outros aspectos. Baseado nisso, este trabalho tem como objetivo propor um Lista de Checagem para avaliação da interoperabilidade em dispositivos Internet das coisas no âmbito das casas inteligentes, identificar os níveis de interoperabilidade, definir um conjunto base de dispositivos e aplicações Internet das coisas que são comumente utilizadas em casas inteligentes, bem como investigar os componentes desses dispositivos que estão relacionados com Interoperabilidade. Para tal, foi elaborada primeira versão da Lista de Checagem com base na literatura, nos níveis de interoperabilidade e em trabalhos relacionados. Posteriormente, a segunda versão foi criada, que possibilitou identificar melhorias para Lista de Checagem. Como resultado, a primeira versão da Lista de Checagem foi capaz de apresentar uma relação entre a pontuação da Lista de Checagem com a interoperabilidade dos dispositivos, embora tenha havido uma limitação no conjunto dos dispositivos, os resultados apresentaram-se promissores.

Palavras-chave: Internet das coisas; Interoperabilidade; Casas Inteligentes; Lista de Checagem.

ABSTRACT

With the advancement of technology and the emergence of new needs, society has been looking for new ways to meet these needs by adhering to the use of devices that allow the creation of a smart environment, as is the case of smart homes. Faced with this new demand, companies seek to adopt new technologies to ensure greater interoperability between devices, in order to maintain a proper functioning between them, allowing their users several benefits such as convenience, security and automation. With the increase in the number of connected devices and several manufacturers developing such devices, numerous challenges arise, especially how such devices will interact between them, the type of proper communication, among other aspects. Based on this, this work aims to propose a Checklist for evaluation of interoperability in IoT devices within the scope of smart homes, identify the levels of interoperability, define a base set of IoT devices and applications that are commonly used in smart homes, as well as investigate the components of these devices that are related to Interoperability. To this end, the first version of the Checklist was elaborated based on the literature, interoperability levels and related works. Subsequently, the second version was created, which made it possible to identify improvements to the Checklist. As a result, the first version of the Checklist was able to present a relationship between the Checklist score and the interoperability of the devices, although there was a limitation in the set of devices, the results were promising.

Keywords: Internet of Things; Interoperability; Smart Homes; Checklist.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Domínios de aplicação e exemplos	19
Figura 2 – Exemplos de dispositivos <i>Internet of Things</i> (IoT)	21
Figura 3 – Arquitetura IoT de três e quatro camadas	22
Figura 4 – Arquiteturas IoT com <i>gateway</i> e sem <i>gateway</i>	24
Figura 5 – Setores de aplicação da tecnologia <i>ZigBee</i>	27
Figura 6 – Embalagem do produto	58
Figura 7 – Manual do produto	58
Figura 8 – Site do fabricante	59
Figura 9 – Manual do no site do fabricante	59
Figura 10 – Pontuação dos Testes - <i>Gateway</i>	78
Figura 11 – Pontuação dos Testes - Dispositivos Finais	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Questionário sobre Interoperabilidade	40
Tabela 2 – Grupo de dispositivos IoT	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre os trabalhos relacionados e o proposto	43
Quadro 2 – Somatório da Pontuação dos dispositivos	60
Quadro 3 – Comparação dos Resultados - Tipo: <i>Gateway</i>	66
Quadro 4 – Comparação dos Resultados - Tipo: Dispositivos Finais	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT	<i>Internet of Things</i>
PRB	<i>Perspective-Based Reading</i>
LBCh	<i>Leitura Baseada em Checklist</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	Internet das Coisas	18
3.1.1	<i>Definições</i>	18
3.1.2	<i>Aplicações da IoT - Casas Inteligentes</i>	19
3.1.3	<i>Arquitetura e Organização de Sistemas IoT para Casas Inteligentes</i>	21
3.2	Interoperabilidade	29
3.2.1	<i>Níveis de Interoperabilidade</i>	31
3.3	Inspeção de software	34
3.3.1	<i>Técnica de leitura Perspective-Based Reading (PRB)</i>	34
3.3.2	<i>Técnica de Leitura Ad-hoc</i>	36
3.3.3	<i>Técnica de Leitura Baseada em Checklist (LBCh)</i>	36
4	TRABALHOS RELACIONADOS	38
4.1	Pesquisa na Literatura	38
4.2	Competitive Live Evaluations of Activity-Recognition Systems (GJO-RESKI <i>et al.</i>, 2015)	39
4.3	A conceptual perspective on interoperability in context aware software systems (MOTTA <i>et al.</i>, 2019)	41
4.4	Interoperability in Internet of Things: Taxonomies and Open Challenges (NOURA <i>et al.</i>, 2019)	42
4.5	Resumo comparativo entre os trabalhos	43
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS GERAIS	46
5.1	Identificar os níveis de interoperabilidade para propor o <i>Checklist</i>	46
5.2	Identificar um conjunto base de dispositivos	46
5.3	Identificar os características dos dispositivos IoT de casas inteligentes que estão relacionados com Interoperabilidade	48
5.3.1	<i>Característica dos dispositivos IoT selecionados</i>	49

5.4	Elaborar primeira versão do <i>Checklist</i>	54
5.5	Formular nova versão do <i>Checklist</i>	55
6	APLICAÇÃO DO CHECKLIST	57
6.1	Primeira fase dos testes: Passos com dispositivos <i>ZigBee</i>	61
6.2	Segunda fase dos testes: Passos com dispositivos Wi-fi	62
6.3	Procedimento dos testes	62
6.4	Cenários e Contextos dos testes	62
6.5	Regras aplicadas aos testes	63
6.6	Execução dos testes	64
6.7	Validação do <i>Checklist</i>	66
6.8	Atualização do <i>Checklist</i>	67
7	DISCUSSÃO	69
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
8.1	Limitação da pesquisa	71
8.2	Principais contribuições	72
8.3	Trabalhos futuros	72
	REFERÊNCIAS	73
	APÊNDICE A – CONTEXTOS E CENÁRIOS APLICADOS NOS TESTES	77
	APÊNDICE B – CHECKLIST PRIMEIRA VERSÃO	79
	APÊNDICE C – CHECKLIST VERSÃO ATUALIZADA	81

1 INTRODUÇÃO

Com os avanços na tecnologia, tais como sensores, atuadores, entre outros, surgem novos paradigmas, como por exemplo; a Internet das Coisas, em inglês *Internet of Things* ou abreviadamente IoT. Segundo Magrani (2018), a IoT se refere à conexão e interação entre diversos tipos de objetos que podem estar presentes no cotidiano das pessoas e que são sensíveis ao contexto e com capacidade de conexão com a Internet.

A IoT permite o desenvolvimento de várias aplicações no mundo real. Atzori *et al.* (2010) classifica as áreas de aplicação de IoT em cinco tipos: (i) transporte e logística, (ii) saúde, (iii) ambientes inteligentes, (iv) social e pessoal e (v) futurística. No tipo "ambiente inteligentes", temos as casas inteligentes.

Para Gonçalves (2021), as casas inteligentes vêm tendo destaque na indústria, que por meio do uso de sensores permitem contribuir para o bem-estar da vida das pessoas. A sociedade necessitou passar mais tempo dentro de residência, e com isso tais dispositivos que utilizam a Internet das Coisas acabam ganhando espaço e mostrando que tal tecnologia é uma tendência em ascensão para o mercado.

Nas casas inteligentes, os usuários têm a possibilidade de controlar e interagir com diversos objetos conectados, tais como lâmpadas, televisores, portas, entre outros. Com isso, temos diversos benefícios, como por exemplo, evitar que a luz continue acesa após sair da residência ou até mesmo impedir que o ar-condicionado fique ligado sem ninguém em casa. Logo, casas inteligentes atuam na contenção de desperdício no consumo de energia, o que pode proporcionar uma série de economias no decorrer do tempo. Portanto, as casas inteligentes não devem ser tratadas apenas como sendo um contexto de luxo para poucos, mas sim como apoio a uma nova necessidade da sociedade que vem buscando obter mais recursos dos dispositivos existentes em suas residências (ZANATTA, Janeiro 2021).

O controle e interação de objetos em casas inteligentes pode ocorrer por meio de aplicações móveis. Nesse sentido, Rowland *et al.* (2015) traz uma reflexão sobre o seguinte cenário: "*imagine que você tem 20 aplicativos diferentes para se conectar com os diversos objetos da sua casa, apenas procurar por um aplicativo desses será bastante desconfortável*".

Ainda segundo Rowland *et al.* (2015), quanto mais dispositivos conectados você tiver, maior será a probabilidade de querer que eles funcionem juntos. Você pode querer, por exemplo, que a luz do corredor acenda quando o alarme disparar para iluminar a câmera. Atualmente, muitos sistemas não se comunicam. Cada um pode estar desenvolvido em uma plataforma

de Software de fabricante separada, com seu próprio aplicativo de front-end e, muitas vezes, nenhuma *Application Programming Interface* (API) para conversar com qualquer um dos outros. Assim, quanto mais dispositivos conectados que não se comunicam entre si, mais difícil será para o usuário interagir com eles.

Ao tratar de dispositivos IoT, especialmente para casas inteligentes, uma característica que deve ser levada em consideração é a Interoperabilidade. Segundo Silva (2004), a interoperabilidade consiste na capacidade do sistema em poder se comunicar de forma transparente com outro sistema. Dessa forma, trata-se do processo de enviar e receber informações de maneira eficiente entre dispositivos de forma compreensível, já que não basta apenas se comunicar, mas é preciso também compreender e processar de forma correta os dados enviados e recebidos entre diversos dispositivos.

Na IoT, a interoperabilidade significa que os dispositivos e serviços IoT podem descobrir, comunicar e coordenar facilmente com outros, independentemente do fabricante. Também significa que podem ser substituídos por um dispositivo equivalente de um fornecedor diferente (ROWLAND *et al.*, 2015).

Dessa forma, esse trabalho tem como propósito contribuir com a área de avaliação da interoperabilidade em dispositivos IoT no âmbito das casas inteligentes. Nesse contexto, existem diversas formas de realizar avaliações de características e a inspeção baseada em *Checklist* é uma delas. Tal abordagem tem benefícios como facilidade de utilização, eficiência e mais barato quando comparado a outras formas de avaliação, proporcionando um custo menor. Neste cenário, esse trabalho utiliza tal abordagem para contribuir com a área.

O resultado desse trabalho será destinado aos profissionais da área de tecnologia que desenvolvem sistemas, a empresas que trabalham na manufatura de dispositivos IoT voltados para casas inteligentes, e ao público que possui interesse na área de casas inteligentes, sejam acadêmicos ou profissionais que atuam na aquisição ou instalação de dispositivos IoT.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Elaborar um *Checklist* para avaliação da interoperabilidade em dispositivos IoT no âmbito das casas inteligentes.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

1. Definir os itens de avaliação da característica Interoperabilidade
2. Definir os critérios ou perguntas para cada item de avaliação
3. Definir esquema de pontuação para avaliação final de dispositivos IoT

Para alcançar os objetivos apresentados, este trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 3 descreve a fundamentação teórica, apresentando os principais conceitos e características abordados nesse trabalho; O Capítulo 4 apresenta os trabalhos relacionados que serviram como base para a realização dessa pesquisa; o Capítulo 5 descreve os procedimentos metodológicos utilizados; o Capítulo 6 descreve aplicação do *Checklist*; o Capítulo 7 apresenta uma análise da avaliação do *Checklist* proposto; e, no Capítulo 8, estão as considerações finais do trabalho.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão abordados os conceitos fundamentais da Internet das Coisas IoT, em especial a área de Casas Inteligentes, bem como Interoperabilidade e Inspeções de Software. Dessa forma, será possível ter uma compreensão mais clara de como elaborar um *Checklist* para avaliar os aspectos mais relevantes da interoperabilidade em dispositivos focados em casas inteligentes.

3.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) se apresenta como um novo paradigma que está impulsionando uma nova revolução tecnológica que afeta a sociedade como um todo (TRAVASSOS *et al.*, 2019). Nesta seção, as diversas definições, aplicações e arquiteturas são apresentadas.

3.1.1 Definições

Para Travassos *et al.* (2019), a IoT permite conexão de inúmeros objetos ou coisas que são endereçáveis de maneira única. Esses objetos ou coisas têm a capacidade de reconhecer, detectar ou conduzir o comportamento e o processamento dos dispositivos conectados entre si, além de poderem se comunicar e cooperar para atingir objetivos em comuns atuando de acordo com o contexto em que os mesmos estão inseridos.

Atzori *et al.* (2010) elabora um conceito bastante amplo sobre a Internet das coisas. Para o autor, a ideia principal da Internet das Coisas é a presença da computação pervasiva (que se espalha, infiltra ou penetra facilmente em algo) de várias coisas ou objetos, como por exemplo; identificação de endereços únicos através de *radio frequency identification*, sensores ou até mesmo celulares, que por sua vez podem interagir entre si e com isso permitir uma cooperação com dispositivos próximos para atingir os objetivos comuns em resposta a uma necessidade.

Segundo Magrani (2018), a expressão Internet das Coisas é usada para especificar a conexão e interação entre diversos tipos de objetos que podem estar presentes no cotidiano das pessoas, de modo que tais objetos são sensíveis ao contexto e com a capacidade de conexão com a Internet. Este conceito inclui dispositivos em nosso dia a dia que são equipados com sensores ou atuadores que podem capturar todos os aspectos do mundo real e executar determinadas ações.

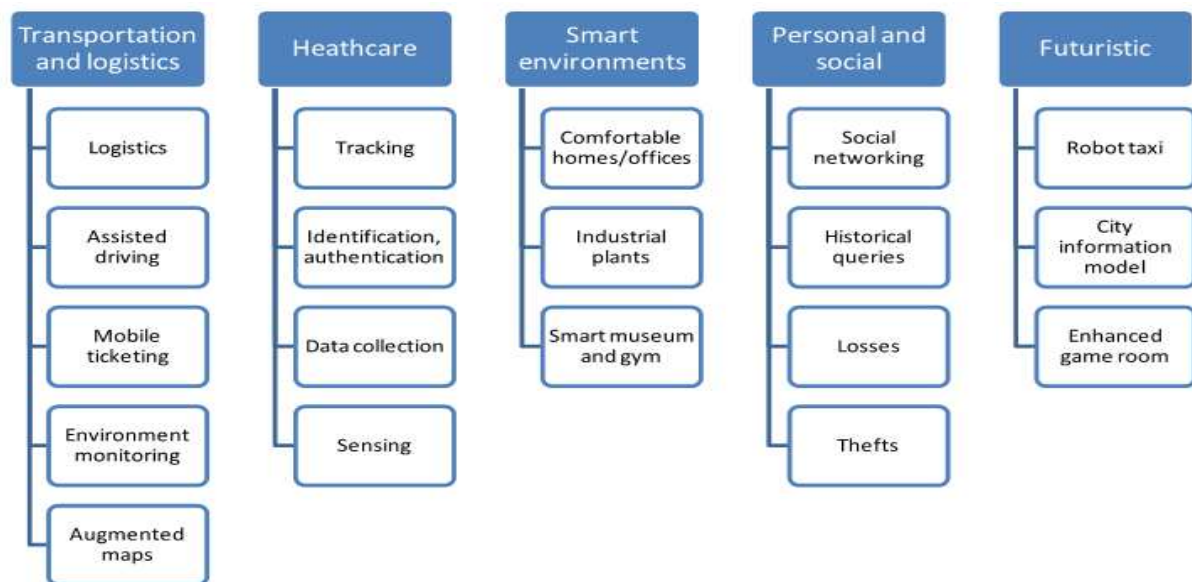
Magrani (2018), a sigla IoT se refere a um mundo onde objetos e pessoas, bem como

dados e ambientes virtuais interagem uns com os outros no espaço e no tempo. Com isso, a IoT pode ajudar efetivamente a resolver problemas práticos, que do ponto de vista do consumidor podem promover maior praticidade e com isso tais produtos com tecnologia integrada por meio da Internet das Coisas podem apresentar diferentes funções e campos, como por exemplo; eletrodomésticos, lâmpadas, trancas, veículos, brinquedos, entre outros.

3.1.2 Aplicações da IoT - Casas Inteligentes

A Internet das Coisas possibilita o desenvolvimento de uma ampla gama de aplicações no mundo real. Carvalho (2016 apud ATZORI *et al.*, 2010, p. 26) apresenta uma classificação das áreas de aplicação em cinco tipos (Ver Figura 1).

Figura 1 – Domínios de aplicação e exemplos



Fonte: Atzori *et al.* (2010).

- Domínio de transporte e logística: Nesse domínio, é possível encontrar veículos como carros, trens, ônibus, entre outros tipos, bem como estradas equipadas com sensores, atuadores e com sistemas com a capacidade de processamento. Isso permite que seja possível executar um melhor direcionamento do tráfego de veículos, permite também um melhor monitoramento do status dos objetos transportados por meio do rastreamento, e muito mais. Algumas das principais aplicações nessa área incluem monitoramento em tempo real, condução assistida, monitoramento de parâmetros presentes no ambiente.
- Domínio da saúde: Nesse domínio, as tecnologias da Internet das Coisas permitem que seja possível o rastreamento de pessoas e objetos, como equipes médicas e pacientes, além

de permitir a identificação e autenticação de pessoas. Essa área também pode envolver a coleta automática de dados e sensoriamento, o que contribuí para com um sistema de saúde mais eficiente e personalizado para seus usuários.

- Domínio de ambientes inteligentes: Nesse domínio, as tecnologias de IoT permitem ambientes inteligentes abrangendo lugares que tornam o cotidiano mais fácil e confortável para seus usuários. Exemplos dessa realidade são as casas inteligentes, escritórios inteligentes, museus inteligentes e até academias inteligentes. Por meio da Internet das Coisas, esses ambientes são equipados com dispositivos conectados que podem automatizar tarefas, melhoram a segurança, otimizando o consumo de energia e oferecendo maior comodidade para seus usuários.
- Domínio pessoal e social: Nesse domínio, a Internet das Coisas permite que os usuários possam interagir com outras pessoas e com isso manter e construir relacionamentos sociais. Como exemplo desse domínio, os dispositivos conectados podem de forma automática o compartilhamento de informações sobre atividades diárias, como deslocamentos de casa para o trabalho, viagens, encontros com amigos ou na prática de esportes. Tal interação promove uma facilitação na comunicação e no compartilhamento de experiências entre os usuários.
- Domínio futurista: Esse domínio engloba sistemas que dependem de tecnologias emergentes, como por exemplo: comunicações avançadas, sensoriamento, processos materiais e industriais. Tais tecnologias são consideradas como em desenvolvimento ou sua implementação ainda é considerada complexa. Um retrato desse domínio é a visão de cidades futuristas, onde táxis com tecnologia avançada respondem aos movimentos de tráfego em tempo real, reduzindo congestionamentos e se movendo para áreas de maior demanda de usuários. Tais veículos autônomos, equipados com sensores de proximidade, circulam com eficiência, evitando acidentes e promovendo uma mobilidade mais inteligente.

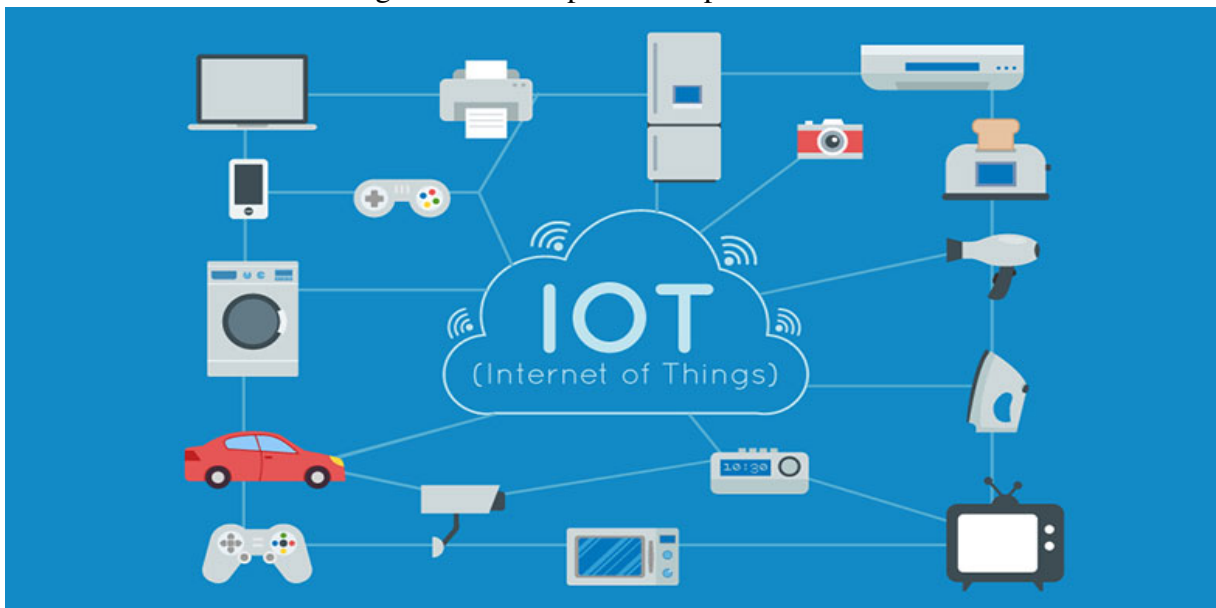
Dentre os domínios mencionados, o domínio de ambientes inteligentes se destaca pelo crescente interesse e uso de tecnologias de Internet das Coisas nas residências (o qual é chamado de Casas Inteligentes neste trabalho), promovendo diversos benefícios e melhorias para o dia a dia das pessoas. Alguns dos principais benefícios que merecem destaque são:

1. Maior comodidade e conforto: por meio da automação residencial, é possível controlar remotamente vários aspectos da casa inteligente, como iluminação, temperatura, sistemas de segurança e eletrodomésticos.

2. Melhor eficiência energética: Com os sistemas e dispositivos aplicados em Casas Inteligentes é possível otimizar o consumo de energia elétrica, monitorar e ajustar o uso de eletricidade de maneira eficiente, controlando o aquecimento, ar-condicionado e a iluminação de acordo com as necessidades reais dos moradores.
3. Aprimoramento da Segurança: a Internet das coisas permite a integração de sistemas de segurança inteligentes, como câmeras de segurança, sensores de presença, sensores de movimento, sensores de vibração e sistemas de alarme. Com isso, os usuários podem monitorar e controlar remotamente a segurança doméstica, receber notificações em tempo real sobre atividades suspeitas e agir de acordo.

A Figura 2 ilustra diversos exemplos de dispositivos disponíveis que podem ser utilizados em casas inteligentes, como por exemplo; ar-condicionado, geladeira, TV, camera de segurança, entre outros dispositivos.

Figura 2 – Exemplos de dispositivos IoT



Fonte: Rodrigues (2019).

3.1.3 Arquitetura e Organização de Sistemas IoT para Casas Inteligentes

Rowland *et al.* (2015) descreve que a estrutura da Internet das Coisas consiste na existência de vários dispositivos compostos por sensores e atuadores conectados, que por sua vez são pequenos dispositivos embarcados e usados para com finalidade de capturar dados do mundo físico para poder entregá-los aos serviços de rede existente para execução de determinada tarefa.

A arquitetura do sistema define o caminho de um dispositivo para outro dispositivo.

Este caminho determina a flexibilidade do sistema e sua possível capacidade de resposta e confiabilidade envolvendo o processo de comunicação entre os dispositivos conectados. Em suma, alguns dispositivos podem se conectar diretamente à Internet. Contudo, muitos acabam não estando conectados diretamente na Internet, mas sim conectados localmente a um *gateway* que por sua vez está conectado à Internet, servindo como uma ponte, um elo de ligação entre o dispositivo e a Internet (ROWLAND *et al.*, 2015).

Choudhary e Meena (2022) descreve em seu trabalho que diversos pesquisadores propuseram diferentes arquiteturas padrão de Internet das Coisas, e por esse motivo, não há um consenso sobre uma arquitetura universal padrão de IoT.

A arquitetura mais básica e amplamente utilizada no contexto da Internet das Coisas é a arquitetura de três camadas. Ela é formada por uma Camada de Percepção, uma camada de rede e uma camada de aplicação. No entanto, pesquisas mais recentes apresentam uma quarta camada chamada camada de middleware. Esta camada foi projetada com o objetivo para facilitar a comunicação entre a camada de rede e a camada de aplicação. Essa estrutura de quatro camadas permite uma melhor configuração e desenvolvimento de arquiteturas da Internet das Coisas (CHOUDHARY; MEENA, 2022).

A Figura 3 mostra os dois modelos de arquitetura da Internet das Coisas: um representando por três camadas e outro com quatro camadas. Ambos os modelos fornecem uma estrutura organizada para o desenvolvimento das tecnologias IoT, permitindo a interação entre as camadas.

Figura 3 – Arquitetura IoT de três e quatro camadas



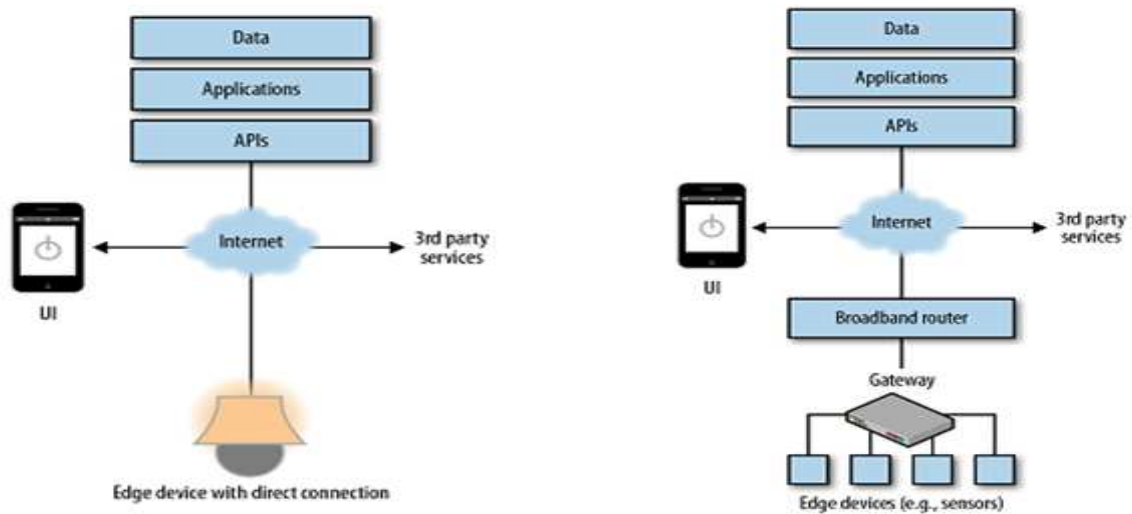
Fonte: Choudhary e Meena (2022).

- Camada de percepção: Representada pela camada mais baixa da arquitetura, refere-se aos dispositivos físicos reais da Internet das Coisas, como por exemplo: sensores, atuadores e outros componentes. Por interagir principalmente com sensores, alguns pesquisadores se referem a essa camada como a camada sensorial. A principal responsabilidade desta camada é coletar informações do ambiente.
- Camada de rede: essa camada é responsável por conectar os dispositivos e enviar as informações sobre o contexto para a camada superior.
- Camada de middleware: essa camada é responsável por armazenar, analisar e processar os dados recebidos pela camada anterior, a camada de rede. Logo, essa camada trabalha com diferentes tecnologias, como por exemplo a computação em nuvem, armazenamento de banco de dados, entre outras. Essa camada também é classificada por outros autores como a "camada de processamento" desempenhando um papel importante no fornecimento de um ambiente de computação e armazenamento de informações. Além disso, as *Application Programming Interface* estão disponíveis para que possam atender a todas as necessidades da camada de aplicativos.
- Camada de aplicação: essa camada é responsável pela integração das informações e promover a sua entrega por meio das aplicações para os usuários. Além disso, essa camada também é responsável pelo gerenciamento de todas as aplicações implementadas pela IoT. Com a existência de inúmeros aplicativos personalizados, é possível atender às necessidades específicas de seus respectivos usuários. Logo, é possível afirmar que a camada de aplicação abrange muitos casos de uso de IoT, como por exemplo: cidade inteligente, casa inteligente, indústria inteligente, saúde, entre outros.

Carvalho (2016 apud ATZORI *et al.*, 2010, p. 25) apresenta dois modelos distintos de arquitetura. O primeiro, quando um dispositivo se conecta diretamente à internet por meio de uma rede Wi-Fi ou dados móveis sem um *gateway* intermediário para estabelecer uma conexão (ver Figura 4. a). Por outro lado, no segundo modelo, o dispositivo se conecta localmente ao *gateway* e o *gateway* por sua vez atua como uma ponte para se conectar à Internet (consulte a Figura 4. b). Essa distinção é fundamental para entender as diferentes maneiras pelas quais os dispositivos podem se conectar e se comunicar na Internet das Coisas.

Carvalho (2016 apud ATZORI *et al.*, 2010, p. 25) apresenta exemplos de elementos que representam as coisas. As coisas são quaisquer objetos presentes no ambiente que de maneira direta ou indiretamente participam da interação com usuário, tais como sensores, atuadores,

Figura 4 – Arquiteturas IoT com *gateway* e sem *gateway*
 a) Architecture without gateway b) Architecture with gateway



Fonte: Atzori *et al.* (2010).

gateways, entre outros.

- Sensores: Um sensor é representado por um dispositivo que transforma um parâmetro físico, biológico ou químico em um sinal elétrico correspondente. Por exemplo, temos sensores de temperatura, pressão, fluxo ou vibração. Tais sensores são capazes de medir o parâmetro físico desejado e fornecer dados digitais que representam essa medição, permitindo que eles se conectem a redes, como a Internet, para enviar e receber informações (NIST, 2021). Os sensores desempenham um papel importante em diversos aspectos de nossas vidas, abrangendo desde a automação industrial até a automação residencial. São dispositivos essenciais para coletar e medir uma ampla variedade de parâmetros físicos, fornecendo informações valiosas para diversas aplicações. Entre os sensores mais comuns, podemos destacar os sensores de temperatura, que nos permitem monitorar e controlar o calor em ambientes e sistemas. Os sensores de umidade desempenham um papel de medir a quantidade de umidade presente no ar ou em outros materiais, fornecendo informações cruciais para o controle climático e a prevenção de danos causados pela umidade. Além disso, temos os sensores de gás que são projetados para detectar a presença e concentração de gases específicos no ambiente, sendo vitais para a segurança e monitoramento de qualidade do ar em diversos contextos (LIU; BAIOCCHI, 2016).
- Atuadores: Os atuadores são componentes essenciais que permitem que os sistemas funcionem no mundo físico. Eles são responsáveis por converter as instruções digitais em ações mecânicas, permitindo que os sistemas executem tarefas físicas com base

nos comandos recebidos (ROWLAND *et al.*, 2015). Alguns exemplos de atuadores, como fechadura inteligente, que permitem travar e destravar portas remotamente, usando smartphones ou comandos de voz. Outro exemplo bastante comum é os atuadores de cortinas motorizadas, de modo que abrem e fecham cortinas ou persianas automaticamente, por meio de comandos enviados por aplicativos ou rotinas definidas conforme necessidades dos usuários. De modo geral, os atuadores são frequentemente utilizados em conjunto com sensores para criar redes de sensores-atuadores (CARVALHO, 2016). As rotinas são representadas por uma sequências predefinidas de ações automatizadas que devem executadas pelos dispositivos conectados.

- *gateway* é uma combinação de hardware e software projetado para várias redes de sensores e Internet ou redes móveis. Sua principal função é atuar como intermediário para permitir uma comunicação eficiente e harmoniosa entre diferentes dispositivos e redes, superando diferenças de protocolos e formatos de dados. Os *gateway* desempenham um papel crítico na integração e interoperabilidade dos dispositivos IoT, permitindo que eles se comuniquem com as redes externas à rede doméstica (CARVALHO, 2016).

Para Rowland *et al.* (2015), as "coisas" podem se comunicar entre si e com outros sistemas usando uma variedade de tecnologias de rede de comunicação. Essas tecnologias de rede são essenciais para permitir a troca de dados e a conectividade no contexto da Internet das Coisas.

Carvalho (2016) define que algumas "coisas" podem estabelecer uma conexão direta com à Internet usando, por exemplo, conexão Ethernet, rede Wi-Fi e Dados móveis. Contudo, existem "coisas" que apesar de usarem redes locais, não suportam conexões diretas com a Internet, como por exemplo: Bluetooth, Rádio, *ZigBee*, *radio frequency identification*, *Near Field Communication*. Tais coisas, podem utilizar um *gateway* para estabelecer uma conexão com à Internet.

A tecnologia de rede tem muitos recursos que as "coisas" da IoT podem usar dependendo das necessidades específicas de cada aplicação. Algumas das principais tecnologias de rede utilizadas na IoT incluem:

- *Ethernet*: tecnologia que permite a conexão física entre diversos dispositivos como computadores, *switches*, *gateway* e roteadores a Internet. A *Ethernet* geralmente é associada a dispositivos conectados por meio de uma *Local Area Network* ou *Wide Area Network* com fio. Com a utilização de um cabo Ethernet, os dispositivos são conectados a um

- switch Ethernet* (ALLIANCE, 2020). Tal conexão, fornece uma comunicação com fio entre o dispositivo e a Internet. Contudo, esse tipo de conexão não permite mobilidade (CARVALHO, 2016).
- Wi-Fi: É uma tecnologia amplamente utilizada que fornece comunicações sem fio de alta velocidade e com um curto alcance. O Wi-Fi pode ser usado para criar uma conexão direta entre dispositivos, como sensores e atuadores, e à Internet por meio de um *gateways* ou roteador (ROWLAND *et al.*, 2015). Atualmente existem três tipos de frequências de Wi-fi, são elas: 2.4Ghz, 5Ghz e 6Ghz. As principais diferenças entre elas é a Velocidade, de modo que o Wi-Fi 6Ghz oferece uma velocidade maior que a 5Ghz, e conseqüentemente maior que a 2.4Ghz. Isso ocorre porque a transmissão sem fio de 2,4 GHz fornece internet para uma área maior, mas sacrifica a velocidade, enquanto os 5 Ghz e 6 Ghz fornecem velocidades mais rápidas para uma área menor (VALERI, 2023).
 - *Bluetooth*: É uma tecnologia baseado em ondas de rádio sem fio. Tratando de distância, seu alcance é curto, por esse motivo que é geralmente utilizado para conexão entre dispositivos mais próximos. O Bluetooth é amplamente utilizado em dispositivos como fones de ouvido sem fio, sistemas de áudio e outros dispositivos com consumo reduzido de energia (KUAN, 2022).
 - *ZigBee*: É um padrão de rede de baixa potência e que possui um alcance considerado relativamente médio, sendo este especialmente adequado para aplicações de automação residencial e até industrial. O *ZigBee* permite a comunicação entre dispositivos com um baixo consumo de energia, como por exemplo sensores, atuadores e controladores, formando assim uma rede de malha para cobrir áreas mais extensas. O *ZigBee* utiliza uma rede de rádio de baixa potência, o que torna adequado para dispositivos que são alimentados por bateria (VARQUES *et al.*, 2010).
 - Rede de celular (3G, 4G): Atualmente existem duas principais redes de dados móveis que são amplamente utilizadas na Internet das Coisas para estabelecer uma conectividade de âmbito global. Tais redes são as 3G e 4G, sendo que a 5G está processo de implementação, tais redes permitem que dispositivos IoT se comuniquem via conexão de dados móveis, possibilitando monitoramento e controle remotos em qualquer lugar do mundo, desde de que coberto por tais sinais de redes, permitindo uma mobilidade maior quando comparado com a rede Wi-Fi ou *Ethernet* (PEREIRA, 2020).

Dentre as tecnologia de rede existentes, o *ZigBee* ganha destaque por ser bastante

utilizado em dispositivos IoT. No entanto, diferentes implementações podem significar que certos dispositivos só possam ser usados com outros dispositivos que usam exatamente a mesma versão do padrão. Além disso, nenhum deles pode se comunicar com muitos dispositivos que não usam o *ZigBee*. Logo, se os sistemas não conseguem conversar entre si, surge a necessidade de o usuário intermediar essa lacuna existente entre os dispositivos (ROWLAND *et al.*, 2015).

De acordo com Rowland *et al.* (2015), a utilização de padrões pode ajudar a corrigir inconsistências, como usar redes *ZigBee* em casa ou adotar estruturas semânticas comuns para dados, mas dada a ampla gama de aplicativos cobertos pela Internet das Coisas, pode ser difícil padronizar completamente.

Figura 5 – Setores de aplicação da tecnologia *ZigBee*



Fonte: Varques *et al.* (2010).

Na Figura 5, pode-se observar que a tecnologia *ZigBee* está presente em diversos dispositivos nas casas inteligentes, fornecendo benefícios na comunicação entre os dispositivos IoT.

De acordo com Varques *et al.* (2010), a rede *ZigBee* é composta por três grupos de classificação: os dispositivos FFD (*Full Function Device*), que atuam como coordenadores de rede e roteadores; os dispositivos RFD, que atuam como dispositivos finais com menor capacidade de processamento e energia limitada; e os dispositivos híbridos, que possuem

algumas características de ambos os grupos. Essa classificação é importante para entender as capacidades e limitações de cada tipo de dispositivo na rede *ZigBee* e, assim, escolher o tipo certo para cada aplicação.

Varques *et al.* (2010), Apresenta de forma mais detalhada as três classificações:

- Coordenador: Considerado como o ponto inicial da rede *ZigBee*, o coordenador é representado pelo nó padrão da rede. Quando é ligado pela primeira vez como coordenador, o dispositivo inicia a sua rede definindo um registro único chamado de Personal Area Network (PAN). O coordenador trabalha em estado ativo para controlar a rede e normalmente é alimentado diretamente, reduzindo o risco de falha no nó centralizador da rede.
- Roteador: Os roteadores são usados em topologias mesh e cluster para tornar a rede mais robusta. Eles possuem tabelas de roteamento e, sendo Full Function Devices (FFDs), permitem encontrar o caminho mais curto para um destino. Se o roteador não tiver o endereço de destino desejado, ele envia uma solicitação de rota e recebe a rota mais eficiente do destino e atualiza sua tabela. Esse mecanismo fornece à rede uma característica de autocorreção caso a funcionalidade de outros nós do roteador na rede falhe.
- Dispositivo final: Eles são nós de folha em topologias de estrela e cluster. Por serem dispositivos Reduced Function Devices (RFDs), não desempenham função de roteamento ou coordenação de rede. Eles se comunicam diretamente com o roteador pai e podem ser implementados com microcontroladores menores (em termos de memória e desempenho) que passam a maior parte do tempo ociosos. Uma instalação RFD é uma localização conjunta de sensores, atuadores e sistemas de controle.

Para Rowland *et al.* (2015), as conexões entre dispositivos ou sistemas devem ser compatíveis e capazes de se comunicar de forma eficaz para alcançar a interoperabilidade. Diferentes tecnologias de conectividade, como Wi-Fi, *ZigBee* e *Bluetooth*, possuem seus próprios protocolos e especificações que definem como os dispositivos se conectam e se comunicam.

Logo, é possível perceber que para atingir a interoperabilidade, é preciso estabelecer padrões comuns que permitam que os dispositivos de diferentes fabricantes e com diferentes tecnologias de conexão possam compartilhar e compreender os dados, permitindo o trabalho em conjunto com diferentes dispositivos conectados.

3.2 Interoperabilidade

Para Rowland *et al.* (2015), quanto maior o número de dispositivos conectados estiver à disposição dos usuários, maior será a probabilidade em querer fazê-los com que trabalhem de forma integrada, ou seja, juntos. Por exemplo, ao considerar o contexto de casa inteligente, o usuário pode desejar que a luz do corredor ligue quando o alarme for acionado para fornecer iluminação adequada para o sistema de monitoramento da residência. Contudo, muitos desses sistemas podem não se comunicar entre si.

Com isso, um sistema pode estar preso a sua plataforma de Software específica ao seu fabricante e com isso apresentar seu próprio aplicativo de gerenciamento e controle como fronteira entre os usuários e os dispositivos, de modo que em muitas das vezes nenhuma API para falar com qualquer um dos outros sistemas é fornecido de forma a garantir a interoperabilidade entre outros dispositivos de outros fabricantes. Diante do exposto, percebe-se que se os sistemas não conversarem entre si, o usuário tem a necessidade de preencher essa lacuna para alcançar seus objetivos (ROWLAND *et al.*, 2015).

A ISO/IEC/IEEE 24765 (2017) considera a interoperabilidade como sendo uma propriedade de suma importância para com o desenvolvimento de sistemas de Software e por isso deve ser levada em consideração durante o processo de desenvolvimento (ELECTRICAL; ENGINEERS, 2017).

Para Motta *et al.* (2019), a definição de interoperabilidade envolve diversos pontos a serem levados em considerações entre eles; a capacidade de troca de informações que por sua vez consiste no fluxo de fornecer algo e receber por meio das interações entre os sistemas; propriedade do sistema sendo este visto de um aspecto funcional ou na identificação dos requisitos que os sistemas possui como sendo subcaracterísticas da interoperabilidade.

Motta *et al.* (2019), afirma que a interoperabilidade pode ser apresentada com base em alguns conceitos, tais como estruturais e comportamentais. O primeiro faz parte da interoperabilidade como sendo representado pela organização dos elementos existentes que são determinados como sendo necessários para que se possa estabelecer a interoperabilidade dos sistemas. Já o segundo refere-se à interoperabilidade de forma observável, diferenciando assim da parte estrutural interna.

Com isso, pode ser afirmado que a partir da consolidação da interoperabilidade é realizada envolvendo os dois conceitos estruturais apresentados e com isso ela pode ser medida bem como melhorada além da possibilidade de ser observada com base na perspectiva dos

conceitos comportamentais (MOTTA *et al.*, 2019).

Um outro conceito na área de tecnologia de informação e comunicação que muitas das vezes é bastante utilizado como sinônimo de interoperabilidade é a integração. Contudo, ambos os conceitos são diferentes, embora sejam complementares, mas distintos entre si (CRUZ *et al.*, 2020).

A integração é descrita como sendo um dos requisitos que permite uma maior cooperação entre os sistemas, permitindo atuar e trabalhar em conjunto com outros sistemas para alcançar um objetivo em comum dentro do contexto harmonizado, por fim como uma relação de sistema que é descrito a maneira como qual dois ou mais sistemas estão conectados entre si (MOTTA *et al.*, 2019).

Segundo Rowland *et al.* (2015), na rede de Internet e na *World Wide Web* ou em português, rede de alcance mundial, a interoperabilidade é alcançada por meio de padrões abertos para protocolos de rede comumente suportados (como por exemplo a pilha *Internet Protocol*) e formatos de dados (como *HTML*). Atualmente, alguns padrões abertos são usados na Internet das Coisas (como os protocolos de aplicativo *HTTP* e *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)* e *Bluetooth*, *ZigBee* ou rede de link WiFi).

As dependências de equipamentos e serviços variam muito e nenhum modelo é adequado para todos os tipos de sistemas existentes. A diversidade de dispositivos e sistemas IoT pode ser o maior obstáculo para a configuração de padrões, considerando que alguns funcionam em redes IP, como Wi-Fi, enquanto outros funcionam em redes locais que não oferecem suporte a IP, como tecnologia via *Bluetooth* ou *ZigBee* (ROWLAND *et al.*, 2015).

Alguns dispositivos precisam estar continuamente conectados e trocar grandes quantidades de dados, enquanto outros precisam “dormir” o máximo possível e minimizar a atividade na rede para maximizar a vida útil da bateria. Logo, não existe um conjunto de padrões que possa fornecer uma solução perfeita para todas essas necessidades existentes. Muitos críticos acham que nunca haverá (ROWLAND *et al.*, 2015).

Compreender os conceitos da Interoperabilidade é fundamental para que seja formulado um *Checklist* para avaliar quais níveis da Interoperabilidade estão presentes nos dispositivos IoT, com isso permitir identificar aqueles que melhor atende as necessidades dos usuários.

3.2.1 Níveis de Interoperabilidade

Goumopoulos e Kotis (2020) apresenta que na Internet das Coisas, a interoperabilidade é um problema relativo que possui características variadas e peculiares para tais sistemas. Por esse motivo, quando as resoluções de tais problemas são buscadas, é necessário considerar inúmeros fatores, que na literatura são chamados de níveis de interoperabilidade.

Goumopoulos e Kotis (2020) apresenta em seu trabalho que uma taxonomia de interoperabilidade para IoT que é baseada em quatro níveis e subníveis, são eles:

1. interoperabilidade técnica: A interoperabilidade técnica apresenta três subníveis de classificação.
 - a) Interoperabilidade dos dispositivos: A interoperabilidade dos dispositivos trata-se da necessidade por um padrão comum consolidado que permite aos dispositivos a sua comunicação, operação e programação com outros dispositivos, independentemente da marca, modelo ou fabricante do dispositivo. Já os sistemas da IoT foram projetados para operar usando tecnologias padrão, como é o caso da tecnologia *ZigBee*. Contudo, outras tecnologias são usadas como *WiFi*, *Bluetooth*, redes *Mesh* e outras que podem ser utilizadas em tais sistemas IoT para que eles possam trabalhar entre si. Logo, podem surgir problemas neste nível envolvendo tais pontos, devido à falta da capacidade de inúmeros dispositivos IoT com arquiteturas distintas de interagirem de forma adequada entre si, possibilitando o seu correto funcionamento. Como exemplo de desafio nesse nível, é a capacidade adicionar um novo dispositivo em uma rede existente com um protocolo de comunicação diferente para colaborar na mesma rede. Na literatura, a interoperabilidade em nível de dispositivo é frequentemente alcançada por meio de soluções de *gateway*, também conhecidas como conversores de protocolo (GOUMOPOULOS; KOTIS, 2020).
 - b) Interoperabilidade das redes: a IoT envolve uma ampla variedade de dispositivos existentes com diferentes meios de comunicação. O que por sua vez, resulta no desenvolvimento de diversos protocolos de comunicação para atender às demandas do mercado de IoT e sua ampla variedade de dispositivos. Eletrodomésticos, como, geladeiras e televisores, utilizam *Wi-Fi* enquanto as comunicações de celulares podem utilizar também as redes 3G, 4G e até 5G. Enquanto os diversos dispositivos IoT empregam tecnologias sem fio de baixo consumo e curto alcance, como *Bluetooth*, *ZigBee* e *RFID*, entre outras tecnologias. Com essa diversidade de protocolos

existentes promove desafios de interoperabilidade, dificultando a comunicação entre dispositivos IoT que utilizam diferentes protocolos e estão na mesma rede. Neste nível de interoperabilidade, são empregados mecanismos que possibilitam a troca contínua de mensagens entre sistemas por meio de diferentes redes heterogêneas. Tais mecanismos buscam abranger os aspectos como endereçamento do dispositivo, roteamento, otimização de recursos, segurança, qualidade de serviço (QoS) e suporte à mobilidade (GOUMOPOULOS; KOTIS, 2020).

- c) Interoperabilidade das plataformas: no subnível de interoperabilidade da plataforma, o ambiente da IoT é representado por um conjunto amplo de características que contribuem para facilitar as operações como manutenção, análise, desenvolvimento, visualização e recursos inteligentes em um aplicativo de IoT. Goumopoulos e Kotis (2020 apud MURDOCK *et al.*, 2016) apresenta como um exemplo, o aplicativo iOS Apple HomeKit que tem suporte para a sua própria linguagem de programação de código aberto denominada de *Swift*, enquanto o Google Brillo utiliza o protocolo *Weave*. Outro exemplo, é a Amazon AWS IoT que disponibiliza SDKs incorporados para as linguagens de programação na linguagem em C e NodeJS. Surge então um dos problemas de interoperabilidade na plataforma dos dispositivos da Internet das Coisas, onde muitos desses sistemas são adaptados para uma aplicação específica da IoT. Isso gera desafios quando se busca a integração entre diferentes plataformas (GOUMOPOULOS; KOTIS, 2020).

2. Interoperabilidade sintática: A interoperabilidade sintática é essencial para a troca de informações e serviços entre sistemas heterogêneos e dispositivos IoT, abordando a interoperabilidade de formatos de dados e codificações utilizados em todas as operações de troca de informações ou serviços entre os dispositivos da IoT. A codificação e decodificação dos dados na comunicação são executadas utilizando regras definidas por uma estrutura gramatical do sistema. Por esse motivo, a padronização de formatos de dados e codificações deve ser sempre considerada como ponto importante, como, por exemplo, a utilização de padrão XML, JSON e RDF. A utilização de uma gramática adequada para codificar e decodificar as mensagens é crucial, já que a falta de padronização dificulta a comunicação entre os dispositivos IoT. É importante destacar que a interoperabilidade sintática é um pré-requisito para a interoperabilidade semântica. A interoperabilidade sintática envolve o uso de um formato de dados comum e um protocolo compartilhado para

garantir a interoperabilidade da informação entre os dispositivos. Além disso, nenhuma comunicação semântica é possível se a sintaxe estiver distorcida ou incapaz de representar os dados trocados entre os dispositivos. Neste nível, o problema da interoperabilidade surge com a grande variedade de dispositivos IoT com diferentes arquiteturas, que por sua vez empregam regras gramaticais distintas, resultando problemas como falhas na comunicação e impedindo o correto funcionamento dos dispositivos na rede (GOUMOPOULOS; KOTIS, 2020).

3. Interoperabilidade semântica: Goumopoulos e Kotis (2020) descreve que no nível da interoperabilidade semântica, é representado pela capacidade de transmitir informações, dados e conhecimentos de maneira significativa entre os dispositivos, serviços e aplicações, tanto dentro quanto fora da Web Semântica. Seremeti *et al.* (2009) descreve que a interoperabilidade semântica é alcançada quando a troca de dados ocorre de forma harmonioso independente da estrutura dos dados originais, conferindo assim um significado comum. Em resumo, nesse nível da interoperabilidade, busca-se estabelecer uma comunicação efetiva e compreensível entre diferentes sistemas, superando as barreiras de heterogeneidade de dados e garantindo a compreensão mútua.
4. Interoperabilidade Organizacional: Para Goumopoulos e Kotis (2020 apud ZARKO *et al.*, 2017, p. 52) a interoperabilidade envolve garantir que a comunicação seja eficaz e harmoniosa de informações em um sistema organizacional. Isso requer a garantia dos três níveis anteriores da interoperabilidade, que são elas: técnica, sintática e semântica, lidando com a heterogeneidade de dispositivos para que sejam alcançados em todos os níveis. Uma forte interoperabilidade organizacional implica que a informação tenha sido transmitida de maneira adequada, mesmo diante das diferenças entre dispositivos, redes, formatos de dados e estruturas de informação.

Esses níveis e subníveis da interoperabilidade contribuíram para a proposta de um *Checklist* capaz de mensurar a interoperabilidade dos dispositivos IoT para Casas Inteligentes, devido aos aspectos cruciais que eles apresentam como requisitos para garantir a comunicação adequada, a compreensão correta e a harmonia na troca de informações entre sistemas e dispositivos da Internet das Coisas. Como exemplo, compreender o nível da plataforma em conjunto com o nível dos dispositivos permite uma perspectiva de como identificar tais aspectos no *Checklist*, identificando possíveis limitações relacionadas à marca e ao modelo, bem como a verificação no fornecimento por parte do fabricante em disponibilizar um aplicativo para uso

com os dispositivos comercializados pelo fabricante em questão.

3.3 Inspeção de software

Segundo Bertini *et al.* (2006), todo o processo de desenvolvimento de software está sujeito à incorporação de defeitos, e a inspeção surge como uma maneira de garantir uma maior qualidade para o software, pois com o apoio da metodologia de inspeção, tais defeitos podem ser detectados e corrigidos posteriormente.

Para Kalinowski e Spínola (2008), "a inspeção de software é um tipo particular de revisão que pode ser aplicado a todos os artefatos de software e possui um processo rigoroso e bem definido para detecção de defeitos".

Já Castro (2017) define que a inspeção de software consiste em uma abordagem estruturada de revisão, com processos bem definidos para detecção de defeitos. O autor ainda descreve que a inspeção é uma técnica que permite analisar as propriedades de qualidade do software, possuindo técnicas de leitura para identificação de defeitos e documentação dos resultados.

Dentre as técnicas de inspeção que podem ser utilizadas para minimizar possíveis inconsistências nos artefatos de software, destacam-se:

- Técnica de leitura PRB,
- Técnica de Leitura *Ad-hoc*,
- Técnica de LBCh.

3.3.1 Técnica de leitura PRB

Para Martins (2014 apud BASILI, 1997), a Leitura Baseada em Perspectiva PRB em inglês (“Perspective-Based Reading”), nada mais é que uma técnica de leitura considerada específica, distinta e sistemática.

Martins (2014 apud CIOLKOWSKI *et al.*, 1997), descreve que a Leitura Baseada em Perspectiva PRB possibilita aos inspetores um suporte para com a inspeção por meio da utilização de cenários existentes, sendo estes cenários, pertencentes a uma perspectiva como por exemplo; um algoritmo que mostra as atividades que precisam ser executadas e quais questões precisam serem respondidas dentro de determinados cenários. O cenário tem como objetivo criar uma abstração do objeto a ser analisado pelo inspetor, promovendo o foco nos pontos mais

importantes existentes nas perspectivas fornecidas para análise.

A Leitura Baseada em Perspectiva promove ainda uma importância maior do ponto de vista do stakeholder, considerando a perspectiva da visão de interesse para o artefato selecionado para a inspeção, promovendo assim uma análise mais detalhada. Considerando a seguinte afirmação: Alves e Gouvêa (2013, p. 25):

O principal objetivo em reproduzir as diferentes perspectivas presentes no contexto do desenvolvimento do sistema é garantir uma inspeção com ampla cobertura, sem que para isso tenham que ser realizadas apenas leituras superficiais. Cada cenário aprofunda a inspeção nos aspectos relevantes para uma perspectiva, o que aumenta as chances de encontrar defeitos que não seriam percebidos em uma leitura mais geral. Cenário PBR é um cenário utilizado na PBR consiste em: uma introdução sobre os interesses do stakeholder no artefato inspecionado; um conjunto de instruções que indicam como obter as informações relevantes para a inspeção; e um conjunto de perguntas que devem ser respondidas durante a execução das instruções. Após a identificação do artefato a ser inspecionado, a construção do cenário é necessária para a realização da PBR.

No trabalho de Laitenberger e Atkinson (1999), a Leitura Baseada em Perspectiva é descrito como um processo necessário para definir os cenários após a seleção do artefato a ser inspecionado.

Diante do exposto, é importante destacar que para esse trabalho, a utilização de cenários foi realizada para execução dos testes. Os cenários em questão representaram um conjunto de situações com objetivo de verificar a interoperabilidade entre os dispositivos, como por exemplo, acender a lâmpada após a porta ser aberta.

Nesse trabalho, os cenários foram denominados de Programação de Ligação (PL). Cada PL, o objetivo é criar uma “ligação” de interação e comunicação entre os dispositivos para executar uma rotina e verificar a interoperabilidade entre os mesmos por meio da programação realizada no aplicativo. Abaixo segue a lista dos cenários criados:

- PL01 - Ao abrir a porta, o sensor deverá acender a Luz/Plug Energia. Ao fechar a porta, o sensor deverá apagar a Luz/Plu energia.
- PL02 - Ao identificar vazamento de água enviar notificação (Dispositivo IoT não adicionado ao conjunto. Cenário não executado por falta do dispositivo).
- PL03 - Ao identificar presença, sensor deve enviar notificação para celular.
- PL04 - Ao desligar dispositivo e/ou abrir fechar a porta dispositivo manualmente, notificar celular.
- PL05 - Dispositivo desligado conforme programado.

3.3.2 *Técnica de Leitura Ad-hoc*

Segundo Martins (2014 apud BOEHM; BASILI, 2001), a técnica de leitura Ad-hoc pode ser classificada como não sistêmica, dependendo muito da formação individual do inspetor. Ela permite gerar melhores resultados conforme o domínio do inspetor sobre o artefato e sua habilidade de leitura. Em outras palavras, os resultados são proporcionais ao conhecimento e à experiência do inspetor. Contudo, caso o inspetor seja inexperiente, essa técnica torna-se ineficaz, principalmente por não fornecer nenhuma orientação sobre como a leitura deve ser realizada, tornando-se uma opção não indicada para inspetores inexperientes.

Melo (2018) a técnica Ad-hoc não utiliza nenhuma técnica de leitura formal, com isso, cada leitor lê o documento à sua maneira, por esse motivo que torna-se dependente da experiência do leitor. Uma grande falha apresentada em tal técnica é o fato de não ser repetível nem melhorado, porque não existe um procedimento a seguir.

3.3.3 *Técnica de LBCh*

Leitura Baseada em *Checklist* LBCh, também conhecida como CBR (em inglês Checklist-Based Reading). O LBCh é o uso de um formulário baseado em uma lista (*Checklist*) de perguntas que o inspetor deve responder. Neste modelo de inspeção, não há configuração padrão para o questionário e a inspeção torna-se mais flexível de ser executada (MELO, 2018).

Cada revisor recebe uma lista de verificação (*Checklist*) na qual os itens da lista de verificação refletem lições importantes aprendidas em revisões anteriores. Os itens individuais da lista de verificação podem listar defeitos funcionais, priorizar vários defeitos ou fazer perguntas que ajudem os revisores a descobrir defeitos (MELO, 2018).

É importante ressaltar a existência de orientações importantes sobre a utilização da LBC, como destacado pelo autor a seguir:

Sabendo-se que o *Checklist* guia a leitura do inspetor, um ponto relevante a ser observado é que a construção do questionário utilizado na CBR deve ser feita com atenção para que não sejam ignorados aspectos importantes na inspeção dos artefatos. Por isso, esses aspectos devem ser definidos antes da confecção do questionário e, após estar pronto, espera-se que todas as características de qualidade definidas sejam atingidas pelas perguntas do *Checklist*. A cobertura do documento inspecionado depende diretamente do questionário elaborado e do inspetor que irá realizar a leitura e, quanto maior a cobertura, maior será o custo na execução da inspeção. Alves e Gouvêa (2013 apud TRAVASSOS, 2007, p. 21).

Segundo Sabaliauskaite *et al.* (2002), a Leitura Baseada em *Checklist* LBCh possui

um formulário que por sua vez é composto por duas divisões. A primeira divisão, apresenta uma descrição do que o inspetor deve procurar e a segunda divisão uma lista que deve auxiliar o inspetor na detestação dos problemas que está sendo procurado para o objeto.

O modelo de inspeção baseado em *Checklist* proporciona uma maior flexibilidade em sua aplicação. Como não há uma configuração padrão para o questionário, é possível adaptá-lo de acordo com as necessidades específicas de cada contexto. A utilização da LBCh promove outras vantagens, como a eficiência, uma vez que o inspetor possui um guia claro e estruturado para seguir durante a leitura. O *Checklist* permite uma avaliação mais rápida e sistemática dos artefatos, pois o inspetor pode focar em responder às perguntas predefinidas, sem a necessidade de revisar toda a documentação repetidamente. Além disso, a utilização do *Checklist* é mais barata se comparada a outros modelos de inspeção.

Para fornecer mais resultados durante os testes, foi necessário a criação e utilização de contexto, já que o contexto representa as circunstâncias na qual o dispositivo conectado está operando, por exemplo; o dispositivo (sensor porta) deve apresentar status de “ABERTA” para quando a porta estiver aberta, e “FECHADA” para quando a porta estiver fechada. Com isso, os respectivos contextos, abreviadamente por CT nesse trabalho, foram criados:

- CT01 - Status: Porta fechada (sensor juntos).
- CT02 - Status: Porta aberta (sensor separado).
- CT03 - Status: Luz desligada/Off (Lâmpada desligada).
- CT04 - Status: Luz ligada/On (Lâmpada desligada).
- CT05 - Status: Sensor ligado (sensor com bateria/energia).
- CT06 - Status: Sensor desligado (sensor sem bateria/energia).

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta os trabalhos relacionados que foram utilizados como base e motivação para este estudo, abordando semelhanças e diferenças com o desenvolvido neste trabalho.

4.1 Pesquisa na Literatura

Com o propósito de encontrar *Checklists* de interoperabilidade existentes, realizamos uma pesquisa na literatura. Os artigos foram selecionados com base nos seguintes protocolos de pesquisa: a primeira referente à população sendo utilizados o contexto da "Internet of Things" ou "IoT" ou "smart homes" ou "connected home", bem como critério de intervenção considerando "interoperability" e "Checklist". Obtendo a respectiva string de busca, ("Internet of Things" OR "IoT" OR "connected home" OR "smart homes") AND ("interoperability") AND ("checklist").

Os critérios adotados para inclusão dos artigos e demais fontes foram a presença de interoperabilidade voltada às características de contexto presentes na Internet das Coisas e em casas inteligentes. Quanto aos critérios de exclusão, são aqueles que não estão disponíveis para recuperação de material, estudos duplicados e conteúdos que não possam ser associados à Internet das Coisas ou casas inteligentes.

As fontes utilizadas foram a IEEE Digital Library e a Scopus, permitindo o acesso através do e-mail institucional da Universidade Federal do Ceará.

Como resultados da IEEE Digital Library, foi encontrado apenas um trabalho intitulado "CHASE: Checklist to Assess User Experience in IoT Environments". O objetivo deste artigo é fornecer um *Checklist* que facilite a avaliação da Experiência do Usuário (UX) em cenários de IoT.

Por outro lado, ao realizar a busca na base de dados da Scopus, foram encontrados 37 artigos de revisão e 133 artigos de pesquisa relacionados ao tema. Entre os artigos de pesquisa encontram-se tópicos como: "Projetando aplicativos de internet das coisas com reconhecimento de privacidade", "Uma revisão abrangente e sistemática dos sistemas de gerenciamento médico baseados em IoT: aplicações, técnicas, tendências e questões em aberto" e "Um levantamento sistemático de frameworks de Internet das Coisas para aplicações de cidades inteligentes", entre outros.

Além dessa busca mais específica por *Checklists*, também foram realizadas bus-

cas considerando apenas trabalhos de interoperabilidade. Através dessas buscas, 3 artigos importantes para esse trabalho foram encontrados e estão descritos a seguir.

4.2 Competitive Live Evaluations of Activity-Recognition Systems (GJORESKI *et al.*, 2015)

Gjoreski *et al.* (2015), descreve o Ambiente de Vida Assistida (AAL) como um campo de pesquisa que busca utilizar a tecnologia para melhorar a qualidade de vida dos idosos, aumentar sua autonomia nas atividades diárias e promover uma sensação de segurança e proteção.

O artigo descreve a iniciativa *anual-EvAAL-AR* (Identificação e Avaliação de Sistemas de Vida Assistidos pelo Meio Ambiente por meio de atividades competitivas de referência), uma competição anual para avaliar sistemas de reconhecimento de atividades em Ambientes de Vida Assistida. Cada equipe participante traz seu próprio sistema de reconhecimento de atividades, que são avaliados em um mesmo cenário executado por um ator. Os critérios de avaliação do questionário incluem, precisão de reconhecimento, aceitação do usuário, atraso de reconhecimento, complexidade de instalação e interoperabilidade.

Devido à grande diversidade de sensores e hardwares utilizados na competição, projetar e aceitar testes padrão para avaliação dos sistemas de AAL foi descrita como sendo uma tarefa difícil. Para enfrentar esse desafio, foi proposta uma iniciativa para um sistema de identificação de atividades, a Avaliação Laboratorial em Tempo Real estabelecida por meio do concurso *anual-EvAAL-AR*. Por meio dessa competição, cada equipe apresentava seu próprio sistema de reconhecimento de atividades (GJORESKI *et al.*, 2015).

Os autores buscaram alguns critérios de avaliação que tinham por objetivos tentar capturar a usabilidade real: precisão de reconhecimento, aceitação do usuário, atraso de reconhecimento, complexidade de instalação e interoperabilidade com sistemas de vida assistida (GJORESKI *et al.*, 2015).

O artigo também apresenta sistemas concorrentes e destaca os dois sistemas de melhor desempenho: (I) o sistema com a maior precisão de reconhecimento e (II) o sistema com a maior pontuação geral. Por fim, o artigo apresenta as lições aprendidas com a competição, bem como uma visão geral sobre o desenvolvimento futuro da competição e o reconhecimento do campo de atividades.

O trabalho apresenta um questionário composto por perguntas fechadas, que por meio de uma pontuação permitiu aos atores selecionar o melhor sistema com base nas características

propostas como por exemplo a interoperabilidade que foi avaliado com base nas seguintes perguntas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Questionário sobre Interoperabilidade

Interoperabilidade	Peso (1–5) Respostas (Valor)
Você fornece alguma API para integrar seu sistema em outros?	5 (Não)
Você fornece alguma escrita de documentação para esta API?	4 (Não)
Alguma documentação de código (como Javadoc)?	3 (Não)
Algum tutorial?	5 (Não)
Alguma aplicação de amostra?	4 (Não)
Você publica seu código como código aberto?	5 (Não)
Você usa algum protocolo de nível de aplicação bem conhecido que permitiria que um sistema externo se conectar ao sistema sem exigir qualquer especificação adicional sobre o protocolo? (por exemplo, XML –RPC, DPWS, BUT NOTTCP/IP, Ethernet)	5 (Não)
TOTAL	31

Fonte: Gjoreski *et al.* (2015).

Com isso o trabalho apresenta características importantes envolvendo a interoperabilidade no contexto de casas inteligentes, estabelecendo um padrão de avaliação para os sistemas de AAL, permitindo que os desenvolvedores e pesquisadores possam comparar seus sistemas e melhorá-los continuamente para o reconhecimento de atividade de pessoas idosas.

O trabalho de Gjoreski *et al.* (2015), descreve a iniciativa EvAAL-AR, uma competição anual para avaliar sistemas de reconhecimento de atividades em Ambientes de Vida Assistida, que tem como objetivo avaliar a precisão, aceitação do usuário, atraso de reconhecimento, complexidade de instalação e interoperabilidade. O presente trabalho, por sua vez, trata da proposta de um *Checklist* para avaliação da interoperabilidade em dispositivos IoT em casas inteligentes, com a identificação de subcaracterísticas de interoperabilidade e componentes dos dispositivos IoT.

Embora ambos os textos estejam relacionados à tecnologia e sua avaliação, o trabalho de Gjoreski *et al.* (2015) enfatiza a competição e a avaliação de sistemas de reconhecimento de

atividades em ambientes assistidos sem foco na interoperabilidade, enquanto o presente trabalho propõe uma metodologia para avaliar a interoperabilidade em dispositivos IoT em casas inteligentes, apresentando um conjunto mais abrangente das subcaracterísticas de interoperabilidade e sua identificação.

Considerando o exposto, o questionário foi utilizado como base para a elaboração do *Checklist* que se concentra exclusivamente na interoperabilidade no contexto de casas inteligentes, e que é composto por diversos critérios que englobam diferentes aspectos dos dispositivos IoT presentes nesse ambiente residencial.

4.3 A conceptual perspective on interoperability in context aware software systems (MOTTA *et al.*, 2019)

Os autores abordam a perspectiva da interoperabilidade em sistemas de *Software* sensíveis ao contexto, capazes de interagir com diferentes dispositivos para executar tarefas e realizar ações com base no contexto, apesar das diferenças em seu desenvolvimento e organização.

Segundo Motta *et al.* (2019), a interoperabilidade é o principal desafio no projeto de tais sistemas. Com isso, o objetivo é discutir como a interoperabilidade tem sido abordada em sistemas de software sensíveis ao contexto, fortalecendo a base científica para seu entendimento e conceituação.

A metodologia utilizada no trabalho foi baseada em revisões quase sistemáticas da literatura para observar a interoperabilidade de tais sistemas de *Software* sensíveis ao contexto para apoiar a discussão. Seu conjunto de dados inclui 17 dos 408 artigos identificados na literatura técnica e com isso realizou uma análise qualitativa das informações extraídas de acordo com os princípios da teoria fundamentada.

Os resultados da pesquisa permitem determinar dez conceitos de interoperabilidade, organizados em um arcabouço teórico da perspectiva da estrutura e do comportamento, bem como da capacidade de tratar a interoperabilidade como coisas (um objeto, um lugar, uma aplicação ou qualquer coisa que possa interagir com o sistema) uma vez superadas suas diferenças (plataforma de desenvolvimento, formato de dados, questões culturais, jurídicas), interaja para fins específicos.

Como a interoperabilidade é estabelecida a partir de conceitos estruturais (contexto, perspectiva, propósito, nível de suporte fornecido e atributos do sistema), ela pode ser medida, aprimorada e observada a partir de conceitos comportamentais (métodos de avaliação, desafios,

problemas e benefícios) (MOTTA *et al.*, 2019).

Com base no que já foi exposto é possível assumir que o referencial teórico da interoperabilidade fornece um conjunto de informações relevantes para os dispositivos IoT e o seu papel nas casas inteligentes, que por sua vez tem relação direta com o presente trabalho, permitindo uma melhor compreensão do conhecimento relacionado à interoperabilidade, considerando o contexto das casas inteligentes.

Enquanto Motta *et al.* (2019) se concentra na abordagem da interoperabilidade em sistemas de *Software* sensíveis ao contexto, o trabalho atual aborda a interoperabilidade em dispositivos IoT no âmbito das casas inteligentes. Motta *et al.* (2019) apresenta uma metodologia de revisão quase sistemática da literatura para observar a interoperabilidade em sistemas sensíveis ao contexto, enquanto o presente trabalho propõe um *Checklist* para avaliar a interoperabilidade em dispositivos IoT e identificar suas subcaracterísticas.

O trabalho de Motta *et al.* (2019) oferece um arcabouço teórico de dez conceitos de interoperabilidade a partir da perspectiva da estrutura e do comportamento, enquanto trabalho atual se concentra na identificação dos componentes dos dispositivos IoT relacionados com a interoperabilidade e na definição de um conjunto base de dispositivos e aplicações IoT comumente usados em casas inteligentes. Ambos os trabalhos enfatizam a importância da interoperabilidade na criação de sistemas eficazes, mas abordam diferentes aspectos dela.

Para este trabalho, compreender tais perspectivas e conceitos que possibilita a este trabalho um caminho mais claro das características, níveis e subníveis da interoperabilidade a serem verificadas e como elas podem ser quantificadas enquanto contexto da Internet das Coisas.

4.4 Interoperability in Internet of Things: Taxonomies and Open Challenges (NOURA *et al.*, 2019)

Noura *et al.* (2019) demonstra no trabalho a importância que é o processo de melhorar a interoperabilidade em dispositivos voltados para a Internet das Coisas. Logo, é um ponto fundamental para o sucesso da Internet das Coisas. Diversas propostas foram apresentadas com diferentes enfoques sobre essa questão fundamental para IoT.

O trabalho também promove uma visão de como foi construído por meio da literatura a taxonomia de interoperabilidade voltada para a Internet das Coisas, permitindo assim uma visão mais aprofundada de como a interoperabilidade afeta os dispositivos IoT.

Noura *et al.* (2019) descreve que a taxonomia da interoperabilidade na IoT engloba

diversas perspectivas, incluindo a interoperabilidade de dispositivos, redes, sintaxe, semântica e plataforma. A partir dessa taxonomia, é possível revisar as principais técnicas e soluções utilizadas para lidar com a interoperabilidade e, conseqüentemente, aumentar o número de produtos de IoT que são interoperáveis.

Compreender a taxonomia da interoperabilidade é relevante para a construção do *Checklist*, que por sua vez será elaborado com base nas subcaracterísticas existentes na interoperabilidade que permitem a identificação de pontos de conexão entre os dispositivos IoT construídos para casas inteligentes.

Ao comparar os dois trabalhos, ambos abordam a importância da interoperabilidade na Internet das Coisas e apresentam propostas de como lidar com esse desafio. No entanto, Noura *et al.* (2019) tem um enfoque mais teórico, discutindo a taxonomia da interoperabilidade na IoT e revisando as principais técnicas e soluções para lidar com a interoperabilidade. Já o trabalho atual tem um enfoque mais prático, propondo um *Checklist* para avaliação da interoperabilidade em dispositivos IoT no âmbito das casas inteligentes e investigando os componentes dos dispositivos IoT que estão diretamente relacionados com interoperabilidade. Ambos os trabalhos são relevantes para especialistas e profissionais do setor que buscam melhorar a interoperabilidade na IoT, mas abordam o tema de maneiras diferentes.

4.5 Resumo comparativo entre os trabalhos

Quadro 1 – Comparação entre os trabalhos relacionados e o proposto

	Trabalhos			
	Este trabalho	Gjoreski et al. (2015)	Motta et al. (2018)	Noura et al. (2018)
Apresenta subcaracterísticas de interoperabilidade?	SIM	NÃO	SIM	SIM
Apresenta foco em dispositivos IoT para casas inteligentes?	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
Apresenta protocolos de comunicação <i>ZigBee</i> para dispositivos IoT?	SIM	NÃO	NÃO	SIM
Possui Checklist?	SIM	SIM.	NÃO	NÃO

Fonte: Elaborado pelo autor.

As semelhanças encontradas entre este trabalho e o trabalho de Gjoreski *et al.* (2015) foi na utilização de questionários no levantamento de características relacionadas a interoperabilidade voltada para casas inteligentes.

A principal diferença entre este trabalho e o de Motta *et al.* (2019) é que Motta *et al.* (2019) utilizaram uma abordagem da interoperabilidade como sendo estabelecida a partir de conceitos estruturais. Já este trabalho, utiliza ambas as perspectivas.

As semelhanças encontradas entre este trabalho e o trabalho de Noura *et al.* (2019)

é o levantamento da visão de como foi construído por meio da literatura a taxonomia de interoperabilidade e como ela é importante nas casas inteligentes.

O quadro 1 apresenta uma breve comparação entre os T.R ao trabalho atual, permitindo que seja possível avaliar sua relação para com o desenvolvimento deste estudo.

Ao verificar se é apresentado nos trabalhos relacionados as definições das subcaracterísticas de interoperabilidade, apenas Gjoreski *et al.* (2015) não aborda tal ponto, tendo em vista que o estudo está relacionado a uma competição de ao vivo compondo processo avaliativo de atividade relacionadas a sistemas de reconhecimento de atividade que busca por meio da utilização da tecnologia a melhoraria da qualidade de vida dos idosos.

No segundo critério, ao verificar quais trabalhos abordam conteúdo com foco em dispositivos IoT para casas inteligentes, apenas o presente trabalho possui tal particularidade, já que os demais acabam apresentando conteúdo de forma mais ampla ou até mesmo mais focada no contexto de atividades voltadas para idosos e não como um público geral, ou até mesmo descrevendo uma visão geral da taxonomia de interoperabilidade da IoT sem trabalhar nos dispositivos em si.

Com relação ao terceiro critério, apenas Noura *et al.* (2019) apresenta especificações sobre os protocolos de comunicação *ZigBee* para dispositivos IoT. Com isso é de suma importância tal consideração sabendo que conforme apresentado anteriormente o *ZigBee* veio para contribuir para com o aprimoramento dos dispositivos IoT buscando uma forma de padronização na comunicação para tais dispositivos.

Dentre os três trabalhos relacionados apenas Gjoreski *et al.* (2015) apresenta um questionário para mensurar a interoperabilidade dos sistemas que foram expostos no estudo, sem focar na interoperabilidade. Contudo, é importante destacar que o questionário do trabalho não se limitou apenas a característica interoperabilidade mais também a usabilidade, manutenibilidade, portabilidade.

A proposta de um *Checklist* para avaliar a interoperabilidade de dispositivos IoT é importante por várias razões. Em primeiro lugar, a interoperabilidade é um dos principais desafios enfrentados pela IoT devido à heterogeneidade dos dispositivos e tecnologias envolvidas. A adoção de um conjunto de critérios e requisitos comuns para avaliar a interoperabilidade pode ajudar a reduzir a complexidade e garantir que os dispositivos IoT possam se comunicar e funcionar juntos de forma eficiente.

Em segundo lugar, o *Checklist* pode ajudar a identificar problemas de interoperabili-

dade antes que se tornem críticos, permitindo que os desenvolvedores corrijam as falhas antes do lançamento dos produtos, aquisição ou instalação e configuração. Isso pode evitar frustrações dos usuários e garantir uma melhor experiência do usuário com os dispositivos IoT.

Além disso, a criação de um *Checklist* pode incentivar a adoção de padrões e protocolos de interoperabilidade, aumentando a compatibilidade e interoperabilidade entre os dispositivos *Checklist* de diferentes fabricantes.

Por fim, propor e apresentar um *Checklist* pode ser útil para profissionais do setor, pesquisadores e especialistas em IoT que trabalham com a interoperabilidade de dispositivos IoT para casas inteligentes, fornecendo uma estrutura clara para avaliar a interoperabilidade e compartilhar conhecimentos e boas práticas.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS GERAIS

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos aplicados para alcançar os objetivos estabelecidos no presente trabalho. A metodologia consiste em um total de seis passos, os quais são listados abaixo:

1. Identificar os níveis de interoperabilidade para propor o *Checklist*
2. Identificar um conjunto base de dispositivos IoT para casas inteligentes
3. Identificar os componentes dos dispositivos IoT de casas inteligentes que estão relacionados com Interoperabilidade
4. Elaborar primeira versão do *Checklist*
5. Avaliar o *Checklist* proposto
6. Formular nova versão do *Checklist*

5.1 Identificar os níveis de interoperabilidade para propor o *Checklist*

A pesquisa sobre interoperabilidade descrita na Seção 3.2.1 foi utilizada nesse passo da metodologia. Dessa forma, os níveis identificados são os apresentados na Seção 3.2.1, os quais são: interoperabilidade técnica, interoperabilidade sintática, interoperabilidade semântica e interoperabilidade organizacional.

Com relação à Interoperabilidade Técnica, existem três subníveis (plataforma, dispositivo e rede) que contribuem para compreender a capacidade dos dispositivos IoT de funcionarem em diferentes plataformas ou ambientes de software e que foram utilizados para construção do *Checklist*.

A escolha dos outros dois níveis de interoperabilidade (sintática e semântica) foi essencial para avaliação da interoperabilidade dos dispositivos IoT. O nível de interoperabilidade organizacional não foi incluído nas perguntas do *Checklist*, pois ele representa a garantia de que os níveis técnico, sintático e semântico foram alcançados.

5.2 Identificar um conjunto base de dispositivos

Nesta fase da metodologia, são selecionados dispositivos IoT comumente utilizados em casas inteligentes para compor um conjunto base. Durante a seleção, foram considerados critérios como disponibilidade, doação e valor dos dispositivos, levando em conta a restrição de recursos financeiros para a pesquisa.

Para identificar o conjunto base de dispositivos, primeiro, foi realizada a busca por fabricantes que comercializam produtos para casas inteligentes. Foi utilizado a amostragem por conveniência, uma técnica não probabilística e não aleatória considerando a facilidade de acesso aos dispositivos desses fabricantes. No entanto, é importante ressaltar que dois dispositivos "sem marca" foram doados para o trabalho e, portanto, foram incluídos no conjunto para serem utilizados neste trabalho.

Como resultado, o seguinte grupo de fabricantes foi selecionado:

1. Aqara: Empresa chinesa especializada em dispositivos IoT. Aqara é conhecida por sua ampla gama de dispositivos IoT, incluindo sensores de porta, lâmpadas e outros.
2. Avatto: Localizada na província de Guangdong, China Chen Ping, a Avatto é uma empresa de tecnologia que fabrica diversos produtos para casas inteligentes.
3. Smatrul: A empresa desenvolve dispositivos com tecnologias *ZigBee*, *Wi-Fi* e *Bluetooth*. Atuando desde 2017, a Smatrul está localizada no sul da China.
4. Moes: Com sede na China, a Moes é uma fabricante e fornecedora de soluções de automação residencial e dispositivos inteligentes.
5. Sonoff Brasil: Subsidiária da Sonoff, que é especializada em dispositivos de automação residencial.
6. Positivo: Empresa brasileira atuando no segmento de tecnologia e eletrônicos. Amplamente reconhecida e possui forte presença no mercado brasileiro de eletrônicos e tecnologia.
7. Xiaomi: Com sede localizada em Pequim, na China, a Xiaomi possui escritórios e operações em várias partes do mundo, como Espanha, Rússia, Estados Unidos e outros. Conhecida por fabricar uma ampla variedade de produtos comercializados, incluindo dispositivos IoT.

Depois desse processo, os principais dispositivos utilizados por esses fabricantes para casas inteligentes foram identificados. As categorias de dispositivos mais comuns para casas inteligentes nesses fabricantes são lâmpadas, sensores de porta/janela, plugs de tomada, sensores de presença e *Gateways*.

Abaixo é apresentado o conjunto de dispositivos utilizados e sua respectiva identificação, conforme cada categoria:

Tabela 2 – Grupo de dispositivos IoT

Grupo	Dispositivos
Lâmpada:	Lâmpada SONOFF 9w, Lâmpada Aqara 9w, Lâmpada Xiaomi 5w, Lâmpada positivo 9w.
Sensor de Porta/Janela:	Sensor de porta/janela Aqara, SM Sensor de porta ZigBee, SM Sensor de porta Wi-fi.
Plug de tomada:	Plug SMATRUL Wi-fi 16A 100-240v, Plug SMATRUL ZigBee 16A 100-240v, Plug positivo 10A, Plug Xiaomi 16A Wi-f, Avatto Plug 16A Wi-f, Avatto Plug 16A ZigBee.
Sensor de presença:	Sensor de presença Sonoff ZigBee.
Gateway:	Aqara M1S Hub Gateway ZigBee, Moes Gateway, Gateway Sonoff.

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.3 Identificar os características dos dispositivos IoT de casas inteligentes que estão relacionados com Interoperabilidade

Selecionado o conjunto de dispositivos IoT, foi realizada uma identificação das características que compõem cada dispositivo, com ênfase naqueles que contribuem para com a interoperabilidade. Essa identificação é baseada no conhecimento adquirido sobre os níveis de interoperabilidade. Por exemplo, foi entendido que para haver interoperabilidade técnica no dispositivo, conexões com dispositivos de diferentes padrões de comunicação deve ser realizada. Então, com base nesse conhecimento, é possível concluir que a característica dos "tipos de conexões suportadas pelo dispositivo" deve ser usada no *checklist* para coletar tais informações.

Senior (2023) descreve a especificação de produto como uma descrição técnica detalhada e completa das características do produto fabricado, que serve como uma referência para avaliar a qualidade e a conformidade do produto com as normas e padrões técnicos estabelecidos. Tal especificação é composta por um conjunto de informações, como dimensões, materiais,

funcionalidades, desempenho, segurança, entre outros aspectos relevantes para a avaliação do produto em questão.

Abaixo são apresentadas as características dos dispositivos listadas anteriormente.

5.3.1 *Característica dos dispositivos IoT selecionados*

1. Descrição: Aqara M1S Hub *Gateway ZigBee*
 - Modelo/Marca: ZHWG15LM / Aqara
 - Conexões: Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n 2.4GHz, *ZigBee* 3.0 IEEE 802.15.4
 - Ano/Fabricação: 2021.05
 - Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Aqara Home.
 - Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.aqara.com/>.
2. Descrição: Moes *Gateway*
 - Modelo/Marca: W.MM (Wered multi-mode) / Moes
 - Conexões: *ZigBee*, Wi-fi 2.4Ghz, *Bluetooth* Mesh
 - Ano/Fabricação: -
 - Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Smart Live.
 - Fonte dos dados: Manual do produto. Indicação de site no manual: <https://ismartlife.me/>.
3. Descrição: *Gateway* Sonoff
 - Modelo/Marca: ZBbridge-P / Sonoff
 - Conexões: Wi-fi 2.4Ghz, *ZigBee* 3.0
 - Ano/Fabricação: -
 - Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: EWeLink.
 - Fonte dos dados: Manual do produto. Indicação de site no manual: <https://sonoff.tech/>.
4. Descrição: Plug SMATRUL Wi-fi 16A 100-240v
 - Modelo/Marca: CZ039W-WIF / Smartul
 - Conexões: WIFI 2.4Ghz 802.11b/g/n
 - Ano/Fabricação: 2022
 - Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Smart Life
 - Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.smartrul.com/>.
5. Descrição: Plug SMATRUL *ZigBee* 16A 100-240v
 - Modelo/Marca: CZ059W-ZIG / Smartul
 - Conexões: *ZigBee* 3.0

- Ano/Fabricação: 2022
- Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Smart Life
- Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.smartrul.com/>.

6. Descrição: Lâmpada SONOFF 9W

- Modelo/Marca: B02-B-A60 / Sonoff
- Conexões: WIFI IEEE 802.11 b/g/n 2.4GHz
- Ano/Fabricação: 2021/2022
- Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: eWeLink
- Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://sonoff.tech/>.

7. Descrição: Lâmpada Aqara 9w

- Modelo/Marca: ZNLDP12LM / Aqara
- Conexões: *ZigBee* 3.0
- Ano/Fabricação: 2022.03
- Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: AqaraHome
- Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.aqara.com/>.

8. Descrição: Sensor de porta/janela Aqara

- Modelo/Marca: MCCGQ11LM / Aqara
- Conexões: *ZigBee* 3.0
- Ano/Fabricação: 2022.01
- Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Aplicativo Apple Home (iOS 10.3 ou posterior), aplicativo Aqara Home (Android 5.0 ou posterior, iOS 10.3 ou posterior).
- Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.aqara.com/>.

9. Descrição: Lâmpada Xiaomi 5w

- Modelo/Marca: ZHWG15LM / Xiaomi
- Conexões: *Bluetooth* 5.0
- Ano/Fabricação: 2021.10
- Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: MI Home.
- Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.mi.com/global/smart-home>.

10. Descrição: Plug positivo 10A

- Modelo/Marca: PPW1000 / Positivo
- Conexões: WIFI 802.11b/g/n 2.4 GHz.

- Ano/Fabricação: 2022
 - Outras informações técnicas: Segurança e criptografia WPA/WPA2, WEP/TKIP/AES.
Aplicativo indicado para utilização: Aplicativo Positivo Smart home.
 - Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.positivocasainteligente.com.br/>.
11. Descrição: Lâmpada positivo 9w
- Modelo/Marca: PLW91 / Positivo
 - Conexões: IEEE 802.11b/g/n, 2.4 Ghz
 - Ano/Fabricação: 2022
 - Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Aplicativo Positivo Smart home.
 - Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.positivocasainteligente.com.br/>.
12. Descrição: Sensor de presença Sonoff *ZigBee*
- Modelo/Marca: SNZB-03 / Sonoff
 - Conexões: *ZigBee* 3.0
 - Ano/Fabricação: -
 - Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: eWeLink.
 - Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.sonoff.tech/>.
13. Descrição: Plug Xiaomi 16A Wi-fi
- Modelo/Marca: ZNCZ07CM / Xiaomi
 - Conexões: IEEE 802.11b/g/n, 2.4 Ghz
 - Ano/Fabricação: 2021.05
 - Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: MI Home.
 - Fonte dos dados: Manual do produto e site: <https://www.mi.com/global/smart-home>.
14. Descrição: Avatto Plug 16A Wi-fi
- Modelo/Marca: OT12-16A / Avatto
 - Conexões: IEEE 802.11b/g/n, 2.4 Ghz
 - Ano/Fabricação: -
 - Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Smart Live.
 - Fonte dos dados: Manual do produto. Indicação de site no manual: <https://ismartlife.me/>.
15. Descrição: Avatto Plug 16A *ZigBee*
- Modelo/Marca: ZT10 / Avatto
 - Conexões: *ZigBee*

- Ano/Fabricação: -
- Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Smart Live.
- Fonte dos dados: Manual do produto. Indicação de site no manual: <https://ismartlife.me/>.

16. Descrição: SM Sensor de porta *ZigBee*

- Modelo/Marca: 19DZT / Sem marca
- Conexões: *ZigBee*
- Ano/Fabricação: -
- Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Tuya.
- Fonte dos dados: Manual do produto. Indicação de site no manual: <https://www.tuya.com/>.

17. Descrição: SM Sensor de porta Wi-fi

- Modelo/Marca: LR03 / Sem marca
- Conexões: Wi-fi 2.4Ghz
- Ano/Fabricação: -
- Outras informações técnicas: Aplicativo indicado para utilização: Tuya.
- Fonte dos dados: Manual do produto. Indicação de site no manual: <https://www.tuya.com/>.

Mapear as características nos dispositivos IoT é fundamental para a aplicação de um *Checklist*. Por esse motivo, identificar o Modelo/Marca não apenas permite mapear o fabricante do dispositivo, mas também ajuda a identificar o tipo específico daquele dispositivo que está sendo utilizado. Conhecer as conexões disponíveis é outro ponto importante para entender e contabilizar no *Checklist* quantos tipos de tecnologias de comunicação o dispositivo suporta.

Já as outras informações técnicas, frequentemente encontradas no manual ou no site do fabricante, são essenciais para extrair informações relevantes, como recomendação de sistema a ser utilizado, possíveis atualizações disponíveis no site do fabricante para aquele produto específico, entre outras informações que podem variar de fabricante para fabricante. Esses detalhes também são considerados no *Checklist*, pois fornecem diretrizes importantes para o uso adequado do dispositivo, como o fornecimento de aplicação para aquele dispositivo IoT. Além disso, identificar a fonte dos dados, seja um manual, tutorial ou site, permite compreender e aplicar no *Checklist* a verificação dessas informações técnicas.

Ao selecionar tais características, é possível aplicar aspectos relevantes dos dispositivos IoT no *Checklist*. Isso ajuda na padronização das verificações e assegura que nenhum elemento importante seja negligenciado durante aplicação do *Checklist*.

Por não apresentar sistema e componentes robustos incorporados aos dispositivos

selecionados, como por exemplo telas, se faz necessário a utilização de sistemas para integração e utilização dos dispositivos IoT. Pensando nesta necessidade, o sistema operacional selecionado para execução dos sistemas será o Android. Por ser um sistema de larga utilização mundial e por ser o sistema de fácil acesso.

Como critério para a seleção dos sistemas, foi considerada a recomendação do fabricante, conforme conjunto dos dispositivos.

1. Smart Life - Smart Living: Desenvolvido pela Volcano Technology Limited. O Smart Life é um aplicativo desenvolvido para o controle e gerenciamento de dispositivos inteligentes. Este aplicativo ajuda você a conectar dispositivos inteligentes.
Versão do aplicativo: 4.8.0.
Sistema suportado: Android 6.0 ou superior.
2. Tuya Smart: Desenvolvido pela Tuya Inc. O sistema Tuya Smart permite controlar remotamente aparelhos domésticos de qualquer lugar, adicionar e controlar vários dispositivos ao mesmo tempo com uma única aplicação, controle de voz via Amazon Eco e Google Home.
Versão do aplicativo: 4.8.2.
Sistema suportado: Android 6.0 ou superior.
3. eWeLink - Smart Home: Desenvolvido pela CoolKit Technology. O sistema eWeLink possui em sua plataforma de aplicativo o suporte para várias marcas de dispositivos inteligentes, incluindo SONOFF. Ele permite conexões entre hardware inteligente diversificado e integra alto-falantes inteligentes populares, como Amazon Alexa e Google Assistant.
Versão do aplicativo: 4.29.2.
Sistema suportado: Android 4.4 ou superior.
4. Positivo Casa Inteligente: Desenvolvido pela Positivo Tecnologia. O sistema da Positivo foi desenvolvido para que possa se comunicar com os dispositivos sempre que quiser e de qualquer lugar, de maneira rápida, fácil, segura e inteligente.
Versão do aplicativo: 3.2.0
Sistema suportado: Android 8 ou superior.
5. Mi Home: Desenvolvido pela Beijing Xiaomi Mobile Software Co.,Ltd. Mi Home é o aplicativo oficial da Xiaomi que ajuda a gerenciar os produtos da Xiaomi da maneira mais fácil e conveniente possível. O sistema permite gerenciar e comunicar-se com dispositivos inteligentes.
Versão do aplicativo: 8.1.704

Sistema suportado: Android 5 ou superior.

5.4 Elaborar primeira versão do *Checklist*

Para a elaboração do *Checklist*, a pontuação padrão adotada foi de 1 ponto para cada questão e/ou item em que a seleção é múltipla. Por exemplo, ao considerar um dispositivo com duas opções de conexão, Wi-Fi e *Bluetooth*, sua pontuação para essa questão seria de 2 pontos.

Por esse motivo, o *Checklist* apresenta uma pontuação que representa um somatório de itens relacionados a interoperabilidade de um determinado dispositivo.

A primeira versão do *Checklist* ocorreu por meio dos resultados de três métodos. O primeiro método iniciou a partir dos trabalhos relacionados, a segundo na busca por identificar conceitos importantes da interoperabilidade e o terceiro com base os níveis e subníveis existentes da interoperabilidade.

Os níveis de interoperabilidade no contexto da IoT em casas inteligentes e o trabalho Competitive Live Evaluations of Activity-Recognition Systems de Gjoreski *et al.* (2015) foram cruciais para elaboração da primeira versão do *Checklist*. Além disso, é de suma importância conhecer a arquitetura IoT, pois ter uma visão sobre as conexões existentes e os tipos de dispositivos permite compreender as diferentes formas de comunicação e interação entre os dispositivos conectados.

A primeira versão do *Checklist* foi estruturada com 10 (dez) perguntas. Tais perguntas são baseadas nos resultados das pesquisas realizadas e analisadas neste trabalho.

A interoperabilidade refere-se à capacidade dos dispositivos e sistemas de se comunicarem, o que pode ser verificado pelo conteúdo apresentado, mostrando que existem diversas formas de estabelecer essas conexões, por exemplo, utilizando tecnologia *ZigBee*. Essa informação permitiu a elaboração da primeira pergunta do *Checklist*, que visa identificar quais tecnologias de comunicação são suportadas pelo dispositivo.

Para a segunda pergunta, o trabalho Competitive Live Evaluations of Activity-Recognition Systems de Gjoreski *et al.* (2015) serviu como um indicativo importante, pois o uso de código-fonte aberto proporciona liberdade aos usuários para executar, copiar, distribuir, estudar e modificar o software de acordo com suas necessidades específicas.

No entanto, como foi mencionado anteriormente, estabelecer uma conexão não é o único nível de interoperabilidade. Portanto, outra pergunta elaborada no *Checklist* é verificar se a empresa fornece uma API para integração com outros dispositivos, possibilitando a interação e

o compartilhamento de informações de forma eficiente e transparente, já que muitos dispositivos não possuem tela, o que gera uma dependência para que seja configurado em um outro dispositivo.

Compreender, implementar e configurar as estruturas de conexões é de extrema importância nas Casas Inteligentes, pois diversos dispositivos possuem características distintas e cada fabricante pode adotar configurações diferentes. Nesse contexto, verificar se é fornecida alguma documentação e tutorial de configuração que facilita a implementação de dispositivos IoT e sua integração em uma casa inteligente de maneira mais fácil e eficiente. Esses recursos são de suma relevância, pois fornecem orientações e o passo a passo sobre como configurar e conectar os dispositivos, permitindo que os usuários sigam as etapas necessárias com confiança.

No subnível da rede, que aborda a capacidade dos dispositivos IoT de se conectar e comunicar em uma rede comum, que por sua vez envolve verificar se os dispositivos são compatíveis com os padrões de rede predominantes e se podem se integrar perfeitamente à infraestrutura de rede existente em uma casa inteligente. Tal conceito foi fundamental para a elaboração da pergunta sobre os protocolos de comunicação suportados pelo dispositivo.

Ao compreender a arquitetura IoT em conjunto com os níveis de interoperabilidade, permitiu entender como os dispositivos na casa inteligente se comunicam entre si e com a internet, formando uma rede interconectada. É importante ressaltar que, em alguns casos, dispositivos IoT voltados para casas inteligentes podem não possuir conexão direta com a Internet, necessitando de um *Gateway*. Portanto, foi necessário identificar essa característica nos dispositivos, sendo abordado no *Checklist* por meio da pergunta "O dispositivo tem capacidade de comunicação direta com a Internet, sem a necessidade de utilizar um *Gateway*?".

Conforme apresentado, é possível, no contexto da IoT, acessar dispositivos remotamente. Com o intuito de mapear essa característica, foi considerado relevante adicionar a pergunta no *Checklist* que busca identificar se o dispositivo é acessível remotamente por meio de uma aplicação através da Internet.

Por fim, ao identificar diversos fabricantes de diferentes regiões, tornou-se relevante para o *Checklist* verificar se o dispositivo ou API está livre de restrições de conexão devido à regionalização ou funcionalidades, respectivamente.

5.5 Formular nova versão do *Checklist*

Concluída a coleta de dados e análise dos resultados na fase anterior, é iniciado o processo de refinamento e aprimoramento do *Checklist*. Isso será realizado com base nas

considerações, observações e resultados gerados a fim de melhorar a eficiência e eficácia do mesmo. A partir disso, é apresentado uma nova versão do *Checklist*, denominada como segunda versão ou versão final.

Após o processo de aprimoramento, o *Checklist* estará disponível para que usuários, pesquisadores e profissionais da área possam utilizá-lo. Isso permitirá que os usuários possam obter maiores benefícios ao utilizar dispositivos com maior interoperabilidade nas casas inteligentes. É importante ressaltar que o *Checklist* proporcionará uma visão mais detalhada sobre quais dispositivos atendem melhor às necessidades do usuário e como eles podem ter uma melhor comunicação no ambiente quando comparados com dispositivos que possuem baixos indicadores (pontuação) de interoperabilidade.

6 APLICAÇÃO DO *CHECKLIST*

Nessa fase da pesquisa, será aplicado o *Checklist* no conjunto de dispositivos selecionados anteriormente, a fim de realizar uma análise dos resultados obtidos.

O processo de aplicação do *Checklist* foi iniciado a partir do conjunto de dispositivos selecionados. Com o conjunto em mãos, o *Checklist* foi aplicado e a pontuação foi registrada no quadro de pontos, conforme exibido no quadro 3.

Para cada dispositivo, as informações foram coletadas conforme as especificações exibidas nas embalagens, manuais e/ou sites dos fabricantes. Quando as informações técnicas não estavam disponíveis na embalagem, elas eram verificadas no manual. Caso o manual também não tivesse as informações necessárias, o site do fabricante era verificado em busca do modelo do dispositivo para obter os dados técnicos. Quando as informações na embalagem não eram suficientes para responder o *Checklist*, o manual e o site eram utilizados como fontes complementares. Essa abordagem permitiu a utilização das três fontes de informações simultaneamente para obter as respostas do *Checklist*. Tal abordagem foi utilizada para responder todas as perguntas do *Checklist*.

Vale ressaltar que não foi encontrada nenhuma menção no site do fabricante ou na documentação sobre o código fonte dos dispositivos ser aberto (Open Source). Isso tornou a segunda pergunta do *Checklist* complexa para ser respondida. Diante do exposto, a remoção da segunda pergunta no *Checklist* é apresentada como uma melhoria para a segunda versão.

A figura 6 apresenta exemplo das especificações na embalagem do dispositivo.

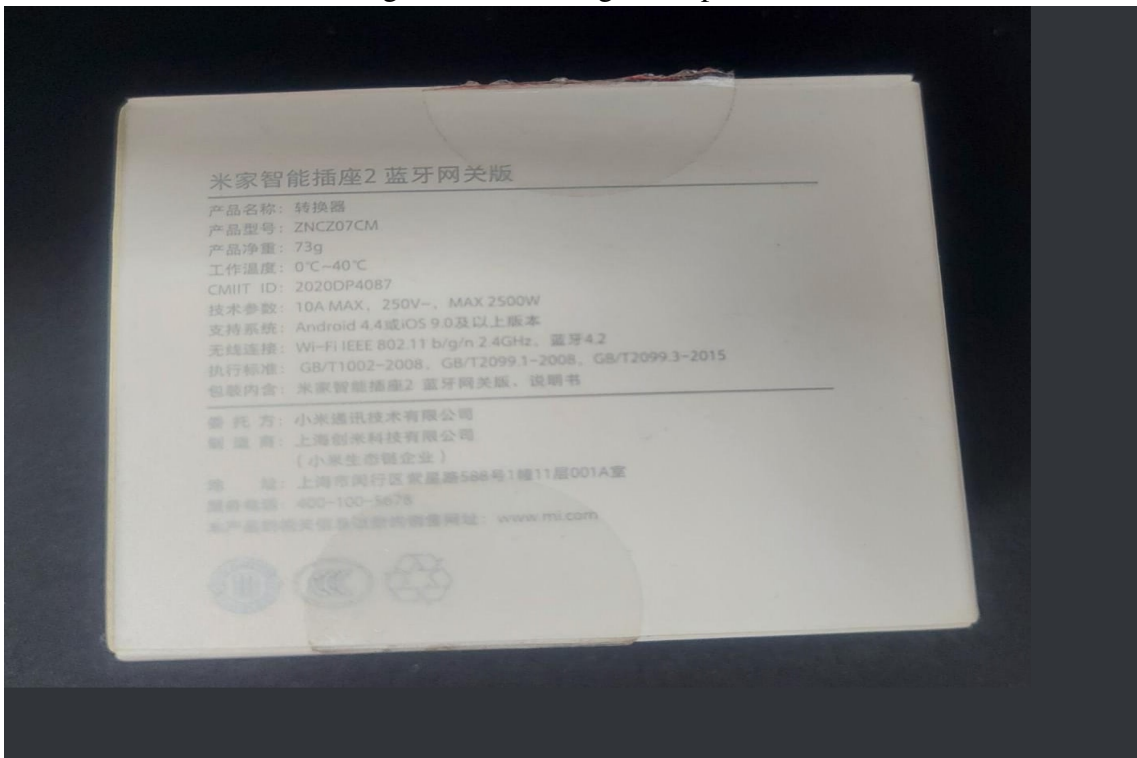
Na figura 6, verificam-se as principais características do dispositivo, como o tipo de conexões suportadas, modelo, versão do Android e iOS suportados, site do fabricante, entre outras informações. Tais informações foram apresentadas anteriormente nas especificações dos dispositivos.

Na figura 7, é possível verificar as principais informações do produto, como o modelo, o tipo de conexões suportado, a recomendação de aplicativo para utilização e configuração, o tutorial de instalação e outras informações relevantes.

Na figura 8 é apresentado o site do fabricante, sendo possível verificar diversas informações do dispositivo, como suas especificações. Já na figura 9, é apresentado o manual, com as configurações e características do dispositivo.

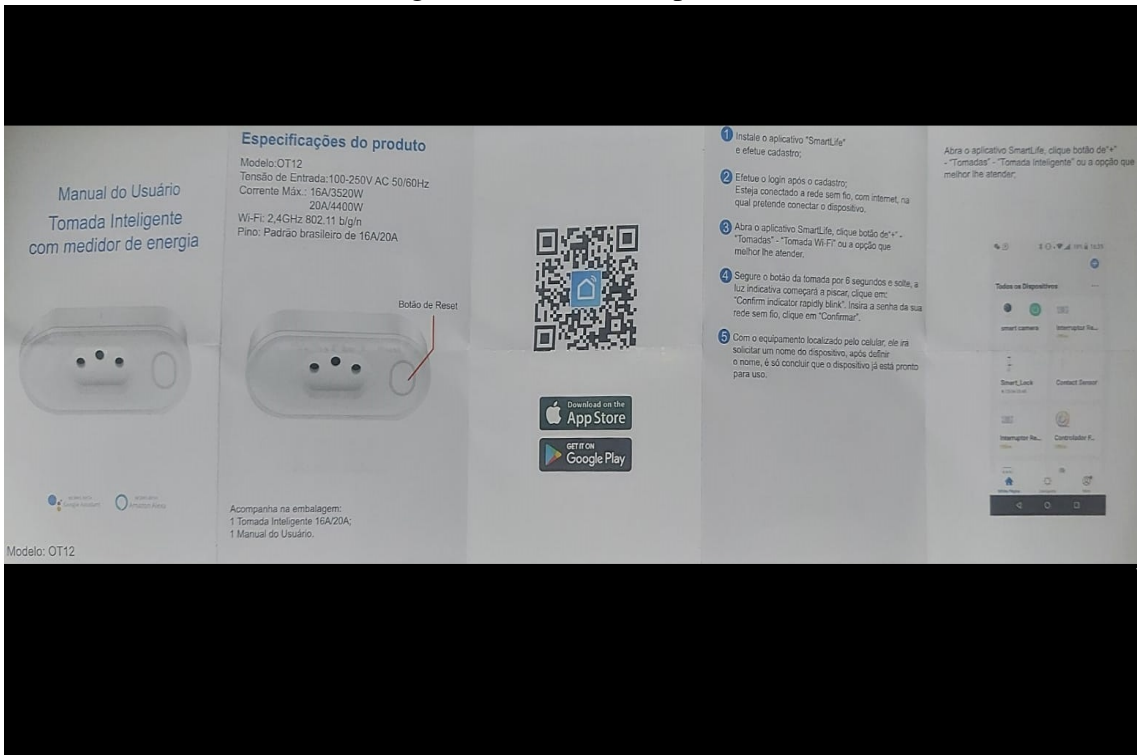
Com as informações coletadas e verificadas conforme as especificações nas embalagens, manuais e/ou sites dos fabricantes, o *Checklist* foi respondido, preenchendo o quadro

Figura 6 – Embalagem do produto



Fonte: Figura capturada pelo autor.

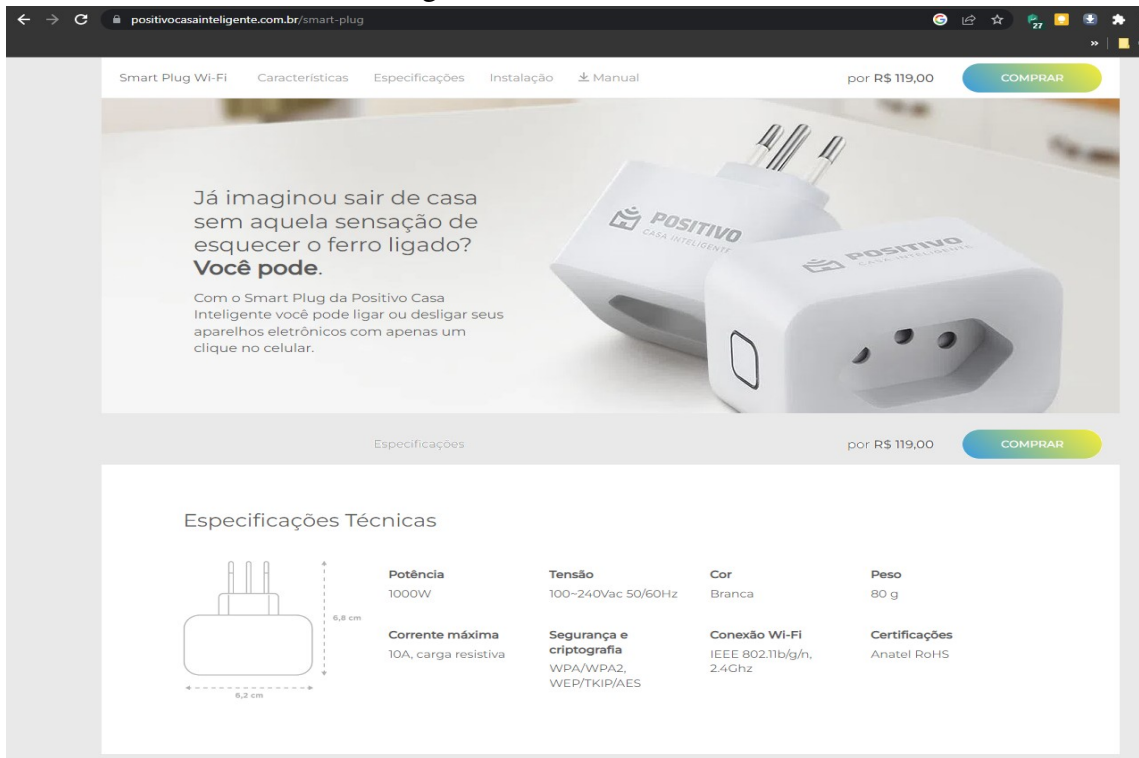
Figura 7 – Manual do produto



Fonte: Figura capturada pelo autor.

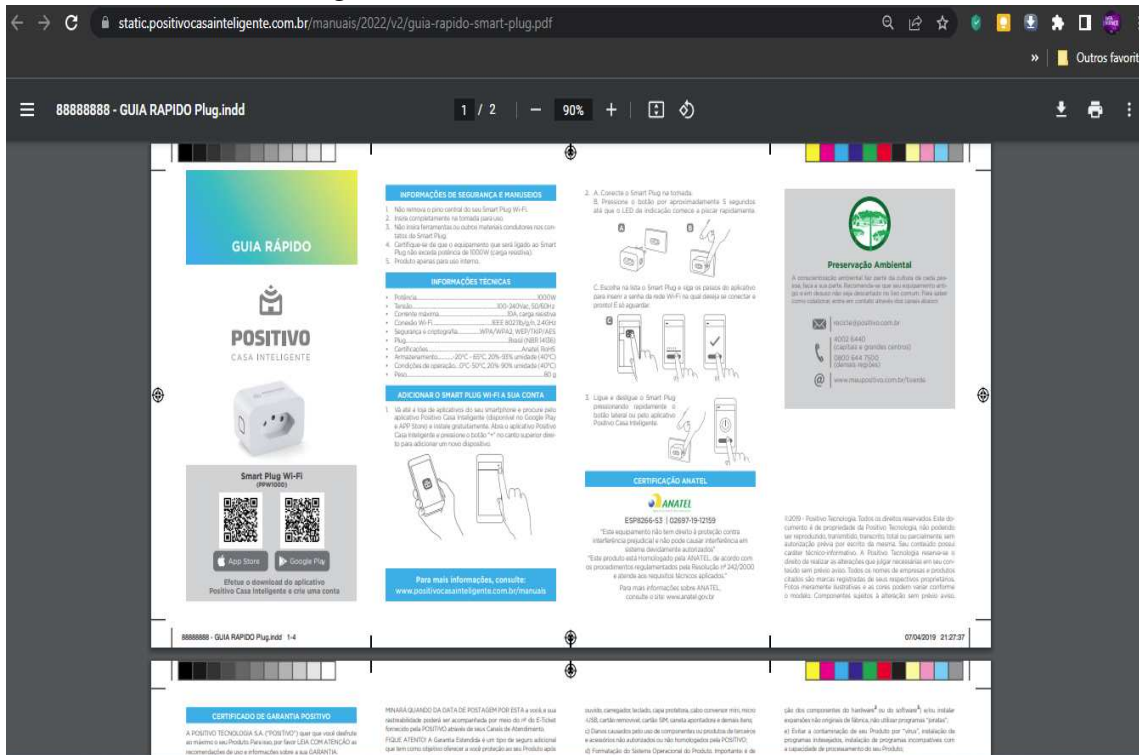
abaixo, que por sua vez, apresenta o somatório para cada questão e a soma final dos dispositivos, conforme aplicação da primeira versão do *Checklist*. Para uma melhor visualização no quadro,

Figura 8 – Site do fabricante



Fonte: Figura capturada pelo autor.

Figura 9 – Manual do no site do fabricante



Fonte: Figura capturada pelo autor.

cada coluna dos dispositivos é representada por uma questão, tendo como descrição a numeração, seguida pela letra 'Q' de questão. Nas linhas, temos uma breve descrição dos dispositivos.

Quadro 2 – Somatório da Pontuação dos dispositivos

	Pontuação do <i>Checklist</i>										Total
	1ª Q	2ª Q	3ª Q	4ª Q	5ª Q	6ª Q	7ª Q	8ª Q	9ª Q	10ª Q	
<i>Gateway Aqara</i>	2	0	1	1	1	2	1	1	1	1	11
<i>Gateway Moes</i>	4	0	1	1	1	2	1	1	1	1	13
<i>Gateway Sonoff</i>	2	0	1	1	1	2	1	1	0	0	9
<i>Plug tomada 16A Smatrul Wi-fi</i>	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	10
<i>Plug tomada 16A Smatrul ZigBee</i>	1	0	1	1	1	2	0	1	1	1	9
<i>Sensor presença Sonoff ZigBee</i>	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	8
<i>Lâmpada Wi-fi Sonoff</i>	1	0	1	1	1	2	0	1	1	1	9
<i>Plug Wi-fi 16A Xiaomi ZigBee</i>	2	0	1	1	1	2	1	1	0	0	9
<i>Lâmpada Xiaomi Bluetooth</i>	1	0	1	1	1	2	0	1	1	1	9
<i>Lâmpada Aqara ZigBee</i>	1	0	1	1	1	2	0	1	1	1	9
<i>Sensor porta Aqara ZigBee</i>	1	0	1	1	1	2	0	0	1	1	8
<i>Plug tomada 10A Positivo Wi-fi</i>	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	10
<i>Lâmpada Positivo Wi-fi</i>	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	10
<i>Plug 16A Avatto Wi-fi</i>	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	10
<i>Plug 16A Avatto ZigBee</i>	1	0	1	1	1	2	0	1	1	1	9
<i>SM Sensor porta Sem Marca ZigBee</i>	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	8
<i>SM Sensor porta Sem Marca Wi-fi</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a aplicação do *Checklist*, foi possível identificar uma variação significativa entre determinados dispositivos IoT, conforme demonstrado no quadro 2. Ao comparar o dispositivo *Gateway Sonoff* com o dispositivo *Gateway Moes*, observou-se uma diferença de aproximadamente 31% na pontuação final.

Não há uma escala padrão para medir a interoperabilidade de dispositivos IoT em casas inteligentes, pois essa medida pode variar de acordo com o contexto, os objetivos e os requisitos específicos do projeto ou aplicação em questão. No entanto, algumas abordagens comuns para avaliar a interoperabilidade incluem a análise de protocolos de comunicação, a

compatibilidade com diferentes sistemas operacionais e plataformas, a integração com outros dispositivos e serviços, a capacidade de suportar padrões e especificações estabelecidos pelo mercado e a facilidade de instalação e configuração. Portanto, a escolha da escala ou método de medição foi baseada nas necessidades e objetivos específicos deste trabalho, consequentemente, da aplicação em questão presentes no *Checklist* proposto.

A escala ordinal foi escolhida por permitir classificar os dispositivos em níveis distintos de compatibilidade, sem estabelecer a magnitude da diferença entre eles, o que é adequado para o propósito deste estudo.

A escala selecionada para o *Checklist*, foi a escala ordinal, na qual foram definidos três classificações de interoperabilidade para os dispositivos: "Alta", "Média" e "baixa".

Após a conclusão do processo de somatório presente nas questões do *Checklist*, uma bateria de testes será executada entre os dispositivos do conjunto. Esses testes serão divididos em duas fases. A primeira utilizando dispositivos com tecnologia *ZigBee*, e a segunda fase utilizando dispositivos com tecnologia Wi-fi.

6.1 Primeira fase dos testes: Passos com dispositivos *ZigBee*

Nessa fase, os testes foram executados seguindo os respectivos passos:

1. Tentativa de conectar todos os dispositivos e aplicativo do mesmo fabricante em um *Gateway*.
2. Tentativa de configurar uma rotina para tais dispositivos no aplicativo do fabricante do *Gateway*.
3. Verificação do funcionamento dos dispositivos conectados.
4. Tentativa de conectar os dispositivos e aplicativos de fabricantes diferentes no mesmo *Gateway*.
5. Tentativa de configurar os dispositivos com sistemas de outros fabricantes.
6. Verificação do correto funcionamento dos dispositivos na rede *ZigBee*.

Os critérios de inclusão para a participação dos testes da primeira fase de avaliação do *Checklist* serão: operar na rede *ZigBee*, estar na versão 3.0 do protocolo de comunicação *ZigBee* e possuir uma das versões mais populares do *Bluetooth*, que são elas: *Bluetooth 4.1*, *Bluetooth 4.2* e *Bluetooth 5.0*.

6.2 Segunda fase dos testes: Passos com dispositivos Wi-fi

Concluídos os testes anteriores, a segunda fase será iniciada com os dispositivos que utilizam tecnologia de comunicação Wi-fi. O procedimento adotado nessa fase, consistiu em:

1. Tentativa de conexão de todos os dispositivos e aplicativo do mesmo fabricante a um *Gateway*.
2. Tentativa de configurar uma rotina para esses dispositivos por meio do aplicativo do fabricante do *Gateway*.
3. Verificação do funcionamento dos dispositivos conectados.
4. Tentativa de conectar dispositivos e aplicativos de fabricantes diferentes ao mesmo *Gateway*.
5. Tentativa de configurar dispositivos com sistemas de outros fabricantes.
6. Verificação do correto funcionamento dos dispositivos na rede Wi-Fi.

Os critérios de inclusão dos dispositivos para a participação da segunda fase dos testes da avaliação do *Checklist* foram definidos como a capacidade de operar nas redes Wi-Fi de 2,4GHz ou 5GHz.

6.3 Procedimento dos testes

A execução dos testes foi realizada com o conjunto de dispositivos selecionados e após a instalação dos aplicativos definidos anteriormente. Para garantir que todos os testes fossem executados com a mesma versão dos aplicativos, foi coletada a versão dos aplicativos instalados no smartphone selecionado. Esse processo foi realizado para evitar resultados desproporcionais em virtude da utilização de versões diferentes.

Antes de iniciar os testes, foi necessário identificar os dispositivos e separá-los em dois grupos distintos. No primeiro grupo, encontramos os *Gateways*, que tinham a função de coordenar os dispositivos finais. No segundo grupo, estavam os dispositivos finais, como lâmpadas, plugs e sensores.

6.4 Cenários e Contextos dos testes

Foram propostos cenários baseados na função de cada dispositivo final, levando em consideração o grupo selecionado. Por exemplo, para os sensores de porta/janela, espera-se que ao abrir a porta, os componentes do sensor se afastem, emitindo um sinal para o aplicativo

informando que a porta/janela está aberta, e com isso, acionar uma rotina, como acender a luz e/ou ligar o plug ao abrir a porta, ou apagar a luz e/ou desligar o plug ao fechar a porta. Esses cenários foram identificados no apêndice A, como PL01 (Programação de Ligação) - Ao abrir a porta, o sensor deverá acender a luz/plug de energia. Ao fechar a porta, o sensor deverá apagar a luz/plug de energia. Outros cenários foram utilizados, como PL03 - Ao identificar presença, o sensor deve enviar uma notificação para o celular, PL04 - Ao desligar o dispositivo e/ou abrir/fechar a porta manualmente, o celular deve ser notificado, e por fim, PL05 - O dispositivo deve ser desligado automaticamente conforme programado.

Em seguida, foram estabelecidos alguns contextos para validar a interoperabilidade dos dispositivos com os sistemas e *Gateways* utilizados. O contexto é necessário para validar o conjunto de circunstâncias em que o dispositivo em uma conexão estável com o sistema produz uma mensagem adequada ao que se espera, considerando lugar e tempo. Por exemplo, se a porta com o sensor instalado está aberta, espera-se que o dispositivo e o sistema se comuniquem adequadamente para identificar que a porta está aberta. Ou, se a bateria do dispositivo é removida e ele perde a conexão, espera-se que o sistema perceba que ele está desligado e exiba o status corretamente. No apêndice A, foram descritos os respectivos contextos utilizados: CT01 (Contexto) - Status: Porta fechada (sensor próximo), CT02 - Status: Porta aberta (sensor afastado), CT03 - Status: Luz desligada/Off (lâmpada desligada), CT04 - Status: Luz ligada/On (lâmpada ligada), CT05 - Status: Sensor ligado (sensor com bateria/energia) e CT06 - Status: Sensor desligado (sensor sem bateria/energia).

6.5 Regras aplicadas aos testes

Algumas regras foram estabelecidas para garantir uma uniformidade de critérios. Obviamente, não é possível utilizar rotinas criadas especificamente para determinados dispositivos que não suportam tais rotinas. Por exemplo, não é possível utilizar a rotina de abrir porta e ligar sensor de presença. Outro ponto importante é que os dispositivos que utilizam bateria foram submetidos a um cenário específico, respeitando todas as limitações do dispositivo. Já para os dispositivos que utilizam energia elétrica 220v, foram aplicados dois cenários. Vale ressaltar que todas as baterias foram testadas antes de sua utilização, para garantir que o fornecimento de energia estava sendo realizado conforme as especificações do fabricante, evitando assim possíveis falhas e erros decorrentes do fornecimento de energia inadequado aos dispositivos.

Para medir os resultados, utilizou-se a mesma pontuação do *Checklist*, ou seja, um

ponto como padrão para cada resultado obtido. Em outras palavras, se o dispositivo conectasse com dois sistemas, ele teria uma soma de dois pontos. Caso não conectasse em nenhum dos sistemas, ele obteria o resultado de zero ponto. Além disso, para cada rotina executada com sucesso, ou seja, sem nenhuma falha, o dispositivo somaria um ponto. Caso houvesse erros durante a rotina, o ponto não seria contabilizado na coluna de rotinas, mas sim na coluna de erros/problemas. Para cada contexto executado corretamente, somaria um ponto.

6.6 Execução dos testes

Com os sistemas instalados, os dispositivos separados, os subgrupos definidos, os cenários elaborados e os critérios de pontuação estabelecidos, iniciaram-se os testes. Os primeiros testes foram realizados com os *Gateways*, buscando-se estabelecer uma conexão com cada um dos sistemas utilizados. Foram realizados 15 testes nesse primeiro momento.

Para cada conexão estabelecida com sucesso, o *Gateway* era resetado para as configurações de fábrica, garantindo que nenhuma configuração anterior influenciasse os testes subsequentes.

Com base nos resultados obtidos anteriormente, a próxima série de testes envolvendo os *Gateways* foi iniciada utilizando os dispositivos que foram capazes de estabelecer conexão com os sistemas. Nesse ponto dos testes, foram realizados 42 testes de conexão com dispositivos finais, incluindo os dois grupos de dispositivos com suporte a tecnologia *ZigBee* e wi-fi. A lista completa de testes pode ser encontrada no apêndice A.

Os dispositivos que estabeleceram conexão com sucesso foram submetidos a testes de contexto e cenários. No total, foram realizados 12 testes de contextos e 9 testes de cenários, totalizando 21 testes.

Nos casos de sucesso na execução da rotina ou do contexto, o dispositivo recebia um ponto, enquanto erros ou problemas eram contabilizados em uma coluna específica para registro e análise posterior.

Esses testes foram fundamentais para avaliar a eficácia dos sistemas instalados, dos dispositivos e das rotinas criadas, permitindo ajustes e melhorias onde necessários. Os resultados obtidos foram compilados em um relatório para análise e validação posterior, visando garantir a eficiência e confiabilidade da pontuação dos testes e do *Checklist*.

Concluído os testes anteriores, os dispositivos com tecnologia Wi-fi foram submetidos aos testes para estabelecer uma conexão direta com o sistema sem a necessidade de *Gateways*.

Nessa fluxo de testes, foram executados 40 testes de conexão. Seguindo a mesma lógica dos testes anteriores, apenas os dispositivos que tiveram sucesso ao estabelecer conexão com o sistema foram submetidos aos testes de cenários e contextos. Portanto, foram realizados 16 testes de contexto e 15 testes de cenários, totalizando 31 testes.

Um resultado positivo foi considerado quando a conexão foi estabelecida com sucesso e a rotina funcionou corretamente, conforme definido anteriormente. Em seguida, os pontos dos resultados positivos foram somados.

Com objetivo de melhorar a visibilidade, foi elaborada uma tabela para comparar os resultados com os valores obtidos nos testes. Foi possível verificar uma relação entre a pontuação do *Checklist* aplicado e os resultados de sucesso obtidos. Diante disso, foi criada uma escala para melhor visualizar os resultados e sua relação, que pode ser encontrada no Apêndice A.

Durante os testes, verificou-se a importância de adicionar duas perguntas pós-teses para promover algumas verificações do nível de interoperabilidade dos dispositivo. Com isso, foram adicionadas tais perguntas para avaliar e promover uma maior qualidade no resultado do *Checklist*, verificando a interoperabilidade dos dispositivos em um nível semântico. A primeira pergunta foi adicionada para avaliar se o dispositivo funcionou corretamente dentro do contexto aplicado, para mensurar se ele está se comunicando corretamente e compreendendo o contexto para atuar em conjunto com outros dispositivos. A segunda pergunta adicionada tem como objetivo verificar se a rotina definida para o dispositivo *ZigBee* funcionou corretamente. Isso é importante porque os sistemas permitem adicionar rotinas para que os dispositivos possam executar suas atividades automaticamente, sem a necessidade do usuário acioná-los manualmente ou por meio do contexto. Essas duas novas perguntas não foram pontuadas no *Checklist*, pois suas respostas só poderão ser obtidas após a aplicação do *Checklist* e dos testes. Elas serão utilizadas apenas para avaliar o nível de interoperabilidade dos dispositivos durante os testes e apoiar o resultado obtido pelo *Checklist*.

Ao todo, foram realizados 149 testes para apresentar o resultado final.

Após a conclusão de ambos os testes, uma análise comparativa com a pontuação do *Checklist* foi realizada com o objetivo de avaliar o resultado do *Checklist* e aprimorá-lo posteriormente.

6.7 Validação do *Checklist*

Com base nos resultados da aplicação do *Checklist*, verificou-se que os valores obtidos corroboram com os indicativos do somatório do *Checklist*. Para os *Gateways*, constatou-se que quanto maior foi sua pontuação no *Checklist*, melhores foram os resultados obtidos nos testes. O *Gateway* Sonoff obteve uma pontuação de 9 no *Checklist*, porém, nos testes, obteve apenas 1. Já o *Gateway* Aqara obteve um somatório de 11 pontos no *Checklist* e apenas 2 nos testes. Por fim, o *Gateway* Moes obteve a maior pontuação dentre os *Gateways* no *Checklist*, com um total de 13 pontos, e nos testes obteve um total de 4 pontos. Ou seja, percebe-se um resultado progressivo na pontuação do *Checklist* com os resultados obtidos.

Para uma melhor compreensão e visualização dos resultados, foi utilizada a seguinte escala: para dispositivos *Gateway* com pontuação nos testes de 1, possuem uma baixa interoperabilidade. Para dispositivos *Gateway* com pontuação de 2 a 3, possuem uma média interoperabilidade. Já para dispositivos *Gateway* com pontuação igual ou superior a 4 pontos, apresentam uma alta interoperabilidade.

O quadro 3 apresenta os resultados obtidos e a comparação com os resultados do *Checklist* aplicado.

Quadro 3 – Comparação dos Resultados - Tipo: *Gateway*

	Pontuação dos Dispositivos <i>Gateway</i>		
	Resultado do <i>Checklist</i>	Resultado dos Testes	Classificação
<i>Gateway</i> Sonoff	9	1	Baixa
<i>Gateway</i> Aqara	11	2	Média
<i>Gateway</i> Moes	13	4	Alta

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quadro 4 apresenta os resultados obtidos nos testes com os dispositivos finais. Com base nos resultados, também foi possível perceber que a pontuação obtida no *Checklist*, em comparação com os resultados dos testes, corrobora com a aplicação do *Checklist* para mensurar o nível de interoperabilidade dos dispositivos finais.

Com exposto, fica evidente que o *Checklist* apresenta um resultado que pode ser considerado como satisfatório, de modo que conseguiu se aproximar dos resultados obtidos nos testes. Dessa forma, pode-se concluir que a utilização do *Checklist* é uma ferramenta útil para avaliar a interoperabilidade dos dispositivos.

Quadro 4 – Comparação dos Resultados - Tipo: Dispositivos Finais

	Pontuação dos Dispositivos		
	Resultado do <i>Checklist</i>	Resultado dos Testes	Classificação
SM Sensor porta Sem Marca <i>ZigBee</i>	8	2	Média
Sensor presença Sonoff <i>ZigBee</i>	8	3	Média
Sensor porta Aqara <i>ZigBee</i>	8	4	Média
Lâmpada Xiaomi <i>Bluetooth</i>	9	4	Média
Plug 16A Avatto <i>ZigBee</i>	9	4	Média
Plug tomada 16A Smatrul <i>ZigBee</i>	9	4	Média
Lâmpada Wi-fi Sonoff	9	4	Média
Lâmpada Aqara <i>ZigBee</i>	9	5	Média
Plug Wi-fi 16A Xiaomi <i>ZigBee</i>	9	5	Média
SM Sensor porta Sem Marca Wi-fi	9	8	Média
Plug tomada 16A Smatrul Wi-fi	10	10	Alta
Plug 16A Avatto Wi-fi	10	10	Alta
Lâmpada Positivo Wi-fi	10	14	Alta
Plug tomada 10A Positivo Wi-fi	10	15	Alta

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.8 Atualização do *Checklist*

Durante a aplicação do *Checklist* e dos testes, foi constatado que havia cenários importantes que não foram contemplados pelo *Checklist* original. Esses cenários exigiam a inclusão de novas perguntas para a nova versão do *Checklist* e com isso garantir a verificação adequada. Por exemplo, a função de Router, que permite não só receber sinais, mas também replicá-los, não estava contemplada na primeira versão do *Checklist*. Além disso, a função de atualização do firmware foi adicionada, uma vez que novas atualizações podem permitir novas compatibilidades e aprimoramento de novos protocolos de comunicação do dispositivo. Outra pergunta adicionada ao *Checklist* foi relacionada à função de Coordenador, uma vez que dispositivos com essa capacidade possuem mais recursos e configurações do que dispositivos finais.

Uma instrução foi adicionada ao *Checklist* para auxiliar em sua aplicação e obter um melhor resultado. Essa recomendação enfatiza a necessidade de utilizar o *Checklist* ao empregar dois ou mais dispositivos de Internet das Coisas (IoT). Isso se deve à importância de comparar a pontuação de cada dispositivo do conjunto com os demais, a fim de identificar quais dispositivos, avaliados pelo *Checklist*, obtêm pontuações superiores, inferiores ou equivalentes. Além disso, constatou-se que é recomendável agrupar os dispositivos por tipos, a fim de obter resultados mais eficientes. Por exemplo, realizar comparações entre *Gateways* e outros *Gateways*, assim como entre dispositivos finais, como lâmpadas, sensores, plugs e outros dispositivos finais.

O *Checklist* foi atualizado com base nos resultados obtidos durante sua aplicação e

nos testes realizados com os dispositivos e sistemas definidos neste trabalho, permitindo assim a criação de uma nova versão aprimorada do *Checklist*. No entanto, não foram realizados novos testes com o *Checklist* atualizado.

7 DISCUSSÃO

Durante a execução dos testes, foram constatados alguns pontos interessantes. O primeiro ponto é que, a princípio, os próprios fabricantes colocam restrições na utilização do aplicativo fornecido por eles para outros dispositivos que não sejam da mesma marca, como foi o caso do aplicativo da Positivo.

Contudo, o Plug Wi-fi e a lâmpada Wi-fi da marca Positivo conseguiram se conectar a outros aplicativos que não eram da marca Positivo. Porém, os dispositivos de outras marcas não conseguiram se conectar ao aplicativo da Positivo. O aplicativo até encontrava o dispositivo, mas exibia uma mensagem dizendo que o dispositivo não era compatível com o sistema.

Outra observação interessante foi que o sensor de porta *ZigBee* sem marca apresentou falhas durante a execução dos cenários de teste. Ao abrir e fechar a porta, o dispositivo não conseguia enviar imediatamente a informação para o aplicativo, gerando erros. Isso resultou na indicação equivocada de que a porta estava aberta, quando na verdade estava fechada. Esse problema não foi observado na versão Wi-fi do dispositivo sem marca. Acredita-se que isso possa ser causado pela presença de um *Gateway* intermediando a comunicação com o aplicativo, mas é importante notar que nenhum outro dispositivo *ZigBee* apresentou essas falhas. Isso pode indicar que o dispositivo em questão utiliza componentes de baixa qualidade. Durante todos os testes, o nível da bateria foi monitorado para garantir que não houvesse problemas no fornecimento de energia, evitando possíveis atrasos e falhas na comunicação.

O sensor de presença *ZigBee* da Sonoff, modelo SNZB-04, apresentou um comportamento peculiar durante os testes realizados. Ao remover a bateria do dispositivo, foi observado que o mesmo permaneceu com status de conectado no aplicativo por mais de 10 minutos. Acredita-se que isso possa ter sido causado por uma falha de comunicação ou pelo armazenamento em cache das informações do dispositivo no aplicativo. No entanto, o status do dispositivo voltou a ser exibido como "desligado" após o *Gateway* da Sonoff ser desligado e ligado novamente. É importante destacar que esse comportamento estranho foi observado apenas nesse modelo específico e não em outros dispositivos *ZigBee* testados durante os experimentos.

Durante os testes, foi observado que o aplicativo MI Home apresentou uma restrição geográfica, permitindo apenas a localização de dispositivos após a configuração da região da China. Não foram realizados testes em outras regiões ou países. Além disso, foi constatado que mesmo todos os *Gateways* possuindo conexão Wi-Fi, não é possível conectar dispositivos Wi-Fi diretamente a eles.

O presente *Checklist* é uma ferramenta que deve ser sempre aplicado em conjunto com dois ou mais dispositivos IoT. Isso ocorre porque o resultado da pontuação de cada dispositivo precisa ser comparado com os demais dispositivos existentes no grupo, a fim de visualizar quais dispositivos do grupo, aplicados ao *Checklist*, possuem uma pontuação maior, menor ou igual em relação à interoperabilidade do conjunto de dispositivos utilizados.

Finalizados os testes, verificou-se que é recomendado que essas comparações sejam feitas agrupando os dispositivos por tipos de dispositivos, visando assim obter os melhores resultados. Por exemplo, ao comparar *Gateway* com outro *Gateways* e dispositivos finais (como lâmpadas, sensores, plugs e etc.) com outros dispositivos finais.

Por fim, conforme mencionado anteriormente neste trabalho, a pergunta sobre código-fonte aberto foi removida na nova versão do *Checklist*. Essa decisão teve como objetivo simplificar a aplicação do *Checklist* e, ao mesmo tempo, garantir um resultado satisfatório, tendo em vista que nenhum dos dispositivos submetidos apresentou essa informação.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo construir um *Checklist* para avaliar a interoperabilidade dos dispositivos IoT utilizados em casas inteligentes, baseado em pesquisas anteriores. No entanto, foi constatada a escassez de conteúdo científico direcionado à mensuração do nível de interoperabilidade desses dispositivos, o que resultou na inexistência de um *Checklist* com tal finalidade. A criação de um parâmetro para avaliar o grau de interoperabilidade dos dispositivos IoT, independentemente da marca e/ou modelo, seria útil tanto para fabricantes e desenvolvedores quanto para consumidores interessados em adquirir dispositivos com alta interoperabilidade.

Conforme apresentado anteriormente, os testes colaboraram para visualizar uma relação entre a pontuação do *Checklist* obtida para cada um dos dispositivos IoT e a interoperabilidade dos dispositivos testados. Essa relação pode ser observada ao comparar o somatório da pontuação das perguntas do *Checklist* com os resultados dos 149 testes executados. Em outras palavras, com base nos resultados, quanto maior a pontuação no *Checklist*, maior será a interoperabilidade do dispositivo em comparação com outros dispositivos do mesmo tipo, seja ele um dispositivo final como lâmpadas, plugs, sensores ou um *Gateway* com outro *Gateway*.

Como mencionado anteriormente, foram identificadas diversas restrições impostas pelos fabricantes, o que limita a utilização desses dispositivos em um único aplicativo. Essas restrições foram confirmadas pelos testes realizados nos aplicativos dos fabricantes.

Além disso, instabilidades foram encontradas, o que indica que é preciso ter cuidado ao utilizar dispositivos de baixa qualidade em redes complexas.

Dessa forma, atualizações nos aplicativos que permitam uma maior interoperabilidade entre os dispositivos, especialmente nos modelos de comunicação *ZigBee*, podem contribuir para uma configuração mais eficiente e uma melhor integração entre os dispositivos.

8.1 Limitação da pesquisa

A principal limitação deste trabalho está relacionada ao conteúdo científico encontrado, por sem algo de recente no mundo da tecnologia, a IoT ainda está em processo de diversos estudos. Além disso, o número de dispositivos selecionados para a avaliação foi limitado, bem como o número de fabricantes representados, uma vez que, apesar de terem sido selecionados 16 dispositivos, ainda não é possível abranger todos os dispositivos disponíveis no mercado. Outro aspecto é que as empresas podem atualizar as versões dos aplicativos e/ou firmware dos

dispositivos, permitindo novas configurações e níveis mais altos de interoperabilidade entre os dispositivos.

8.2 Principais contribuições

As principais contribuições deste trabalho são relevantes tanto para a área acadêmica quanto para os profissionais que atuam em casas inteligentes, além de proporcionar aos fabricantes uma compreensão da importância da interoperabilidade dos dispositivos IoT em casas inteligentes. Entre as contribuições, destacam-se as principais características e funcionalidades utilizadas para a comunicação entre os dispositivos, bem como os principais problemas enfrentados nesse contexto. Além disso, esse trabalho também incentiva novas pesquisas sobre o tema e seu conteúdo, ampliando assim o conhecimento sobre a interoperabilidade de dispositivos IoT em casas inteligentes.

8.3 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, pretende-se aplicar a versão atualizada do *Checklist* para possibilitar novos resultados e aprimorar o *Checklist* para novas aplicações, permitindo mensurar a interoperabilidade em novos dispositivos inteligentes para casas inteligentes. Como a tecnologia avança constantemente, é necessário atualizar o *Checklist* para obter resultados aprimorados nos novos dispositivos. Isso inclui a inclusão de novas funcionalidades e características de comunicação, bem como a avaliação de um número maior de dispositivos e fabricantes para ampliar a representatividade dos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- ALLIANCE, E. **What Is Ethernet?** Cisco, 2020. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/what-is-ethernet.html>. Acesso em: 21 jun. 2023.
- ALVES, A. M. A.; GOUVÊA, A. L. C. Técnica de inspeção de softwares baseada em técnicas de leitura e verificação de modelos uml de alto nível. **Uniriadb.Uniriotec.Br**, Rio de Janeiro, n. 103, 2013. Disponível em: <https://bsi.uniriotec.br/wp-content/uploads/sites/31/2020/05/201308AlvesGouvea.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: a survey. **Computer Networks**, Calabria, v. 54, 2010. ISSN 13891286. Disponível em: <https://www.cs.mun.ca/courses/cs6910/IoT-Survey-Atzori-2010.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- BASILI, V. R. Evolving and packaging reading technologies. **Journal of Systems and Software**, College Park, v. 38, n. 1, p. 3–12, Janeiro 1997. ISSN 0164-1212. Achieving Quality in Software. Disponível em: <https://www.cs.umd.edu/~basili/publications/journals/J68.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.
- BERTINI, L. A.; KIRNER, T. G.; MONTEBELO, M. I.; LARA, I. A. R. Técnicas de inspeção de documentos de requisitos de software: um estudo comparativo. In: **Anais do WER06 - Workshop em Engenharia de Requisitos**. Rio de Janeiro, RJ: [S. n.], 2006. p. 67–74.
- BOEHM, B.; BASILI, V. R. Software defect reduction top 10 list. **Computer**, Washington, DC, v. 34, n. 1, p. 135–137, 2001. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=962984>. Acesso em: 28 set. 2022.
- CARVALHO, R. M. **Human-thing and thing-thing interactions in iot systems**. Monografia (Doutorado em ciência da computação) – Universidade Federal do Ceará. Centro de ciências. Departamento de computação, Fortaleza, Ceará, 2016.
- CASTRO, E. **Qual diferença entre inspeção e teste de software? Você conhece o processo de inspeção?** REde requisitos, 2017. Disponível em: <http://rederequisitos.com.br/qual-diferenca-entre-inspecao-e-teste-de-software-voce-conhece-o-processo-de-inspecao/>. Acesso em: 04 jun. 2022.
- CHOUDHARY, D. S.; MEENA, G. Internet of things: Protocols, applications and security issues. In: ELSEVIER B.V, 4., 2022, Coimbatore. **4th International Conference on Innovative Data Communication Technology and Application**. Tamil Nadu: Sciencedirect, 2022. v. 215, p. 274–288. ISSN 1877-0509.
- CIOLKOWSKI, M.; DIFFERDING, C.; LAITENBERGER, O.; MUNCH, J. Empirical investigation of perspective-based reading: a replicated experiment. **International Software Engineering Research Network (ISERN)**, n. 13/97, 1997. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.718.3994&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.
- CRUZ, M. M.; DELGADO, M. V. A.; BERNARDINI, F.; NUNES, V. T.; BASTOS, C. A. M. Interoperabilidade e integração de sistemas e dados para apoio à tomada de decisão pela gestão da prefeitura de volta redonda-rj: Perspectivas e desafios. In: **Anais do VIII Workshop de Computação Aplicada em Governo Eletrônico**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2020. p. 148–155. ISSN 2763-8723. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wcge/article/view/11266>. Acesso em: 10 ago. 2021.

ELECTRICAL, I. of; ENGINEERS, I. E. Iso/iec/ieee international standard - systems and software engineering–vocabulary. **ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E)**, Switzerland, 3 Park Avenue, New York, p. 1–541, 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8016712>. Acesso em: 28 mar. 2023.

GJORESKI, H.; KOZINA, S.; GAMS, M.; LUSTREK, M.; GARCIA, J. A. A.; HONG, J.-H.; RAMOS, J.; DEY, A. K.; BOCCA, M.; PATWARI, N. Competitive live evaluations of activity-recognition systems. **IEEE Pervasive Computing**, Berlin, Heidelberg, v. 14, n. 1, p. 70–77, 2015.

GONÇALVES, J. R. d. M. **O crescimento de IoT em um mundo cada vez mais conectado: do controle por voz até cidades inteiras conectadas**. Orange Business Services Limited, 2021. Disponível em: <https://www.orange-business.com/br/blogs/o-crescimento-iot-em-um-mundo-cada-vez-mais-conectado-do-controle-por-voz-ate-cidades>. Acesso em: 18 jul. 2021.

GOUMOPOULOS, A. P. C.; KOTIS, K. A review on iot frameworks supporting multi-level interoperability – the semantic social network of things framework. **International Journal on Advances in Internet Technology**, Greece, v. 13, n. 1, p. 46–64, June 2020.

KALINOWSKI, M.; SPÍNOLA, R. Introdução à inspeção de software - aumentando a qualidade através de verificações intermediárias. **Engenharia de Software Magazine**, v. 1, p. 68–74, 2008.

KUAN, F. **Tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance tecnologia de comunicação sem fio de longo alcance**. Computer Networks, 2022. Disponível em: <https://encr.pw/YbTAX>. Acesso em: 21 jun. 2023.

LAITENBERGER, O.; ATKINSON, C. Generalizing perspective-based inspection to handle object-oriented development artifacts. In: **Proceedings of the 21st International Conference on Software Engineering**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1999. p. 494–503. ISBN 1-58113-074-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/302405.302680>. Acesso em: 28 set. 2022.

LIU, X.; BAIOCCHI, O. A comparison of the definitions for smart sensors, smart objects and things in iot. In: **2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)**. Vancouver, BC, Canada: [S. n.], 2016. p. 1–4. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7746311>. Acesso em: 28 set. 2022.

MAGRANI, E. A internet das coisas. **Editores FGV**, Rio de Janeiro, p. 27–61, 2018. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/23898/A%20internet%20das%20coisas.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2021.

MARTINS, G. G. **Evidências Experimentais sobre Leitura Baseada em Perspectiva**. Monografia (Bacharel em ciências da computação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2014.

MELO, S. M. Inspeção de software. **USP - Instituto de Computação e Matemática Computacional**, São Carlos, 2018. Disponível em: <https://docplayer.com.br/62350691-Inspecao-de-software.html>. Acesso em: 22 jun. 2023.

MOTTA, R. C.; OLIVEIRA, K. M. d.; TRAVASSOS, G. H. A conceptual perspective on interoperability in context-aware software systems. In: ELSEVIER B.V, 2019. **Information and Software Technology**. Sciencedirect, 2019. v. 114, p. 231–257. ISSN 0950-5849. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584919301442>. Acesso em: 22 jan. 2023.

MURDOCK, P.; BASSBOUSS, L.; KRAFT, A.; BAUER, M.; LOGVINOV, O.; ALAYA, M.; LONGSTRETH, T.; BHOWMIK, R.; MARTIGNE, P.; BRETT, P.; MLADIN, C.; CHAKRABORTY, R.; MONTEIL, T.; DADAS, M.; DAVIES, J.; NAPPEY, P.; DIAB, W.; RAGGETT, D.; DRIRA, K.; KHAN, I. **Semantic Interoperability for the Web of Things**. [S. l.: s. n.], 2016.

NIST. **IEEE 1451 Sensors**. Gaithersburg: United States Congress, 2021. Disponível em: <https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/definitions>. Acesso em: 20 jun. 2023.

NOURA, M.; ATIQUZZAMAN, M.; GAEDKE, M. Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges. In: **Mobile Networks and Applications**. [S. l.: s. n.], 2019. v. 24, n. 3, p. 796–809.

PEREIRA, L. **As diferenças entre 3G, 4G e 5G**. Campinas, SP: Venturus, 2020. Disponível em: <https://www.venturus.org.br/as-diferencas-entre-3g-4g-e-5g/>. Acesso em: 21 Jun. 2023.

RODRIGUES, B. **IoT: o que é, como funciona e aplicações**. [S. l.]: Mobizoo, 2019. Disponível em: <https://mobizoo.com.br/telecom/iot-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em: 21 ago. 2021.

ROWLAND, C.; GOODMAN, E.; CHARLIER, M.; LIGHT, A.; LUI, A. **Designing Connected Products: Ux for the consumer internet of things**. First edition. 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472: O'Reilly Media, Inc., 2015. 385 p.

SABALIAUSKAITE, G.; MATSUKAWA, F.; KUSUMOTO, S.; INOUE, K. An experimental comparison of checklist-based reading and perspective-based reading for uml design document inspection. In: **2002 International Symposium on Empirical Software Engineering Proceedings**. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2002. p. 148–157. Disponível em: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ISESE.2002.1166934>. Acesso em: 28 set. 2022.

SENIOR. **Especificação do produto**. [S. l.]: Senior Sistemas S.A., 2023. Disponível em: <https://documentacao.senior.com.br/gestaoempresarialerp/7.0.0/index.htm#gestao-industrial/gestao-engenharia/especificacao-produto.htm?Highlight=Especifica%C3%A7%C3%A3o%20do%20produto>. Acesso em: 14 jul. 2023.

SEREMETI, L.; GOUMOPOULOS, C.; KAMEAS, A. Ontology-based modeling of dynamic ubiquitous computing applications as evolving activity spheres. **Pervasive and Mobile Computing**, Missouri, v. 5, p. 574–591, 2009. ISSN 15741192.

SILVA, R. F. **A importância da interoperabilidade**. [S. l.]: PHP Brasil, 2004. Disponível em: <http://phpbrasil.com/articles/article.php/id/851>. Acesso em: 20 mai. 2021.

TRAVASSOS, G. H. **Revisão e Inspeção de Software**. [S. l.: s. n.], 2007. Disponível em: [http://lens.cos.ufrj.br:8080/eselaw2007/ESELAW07-TRAVASSOS\(SC2\).pdf](http://lens.cos.ufrj.br:8080/eselaw2007/ESELAW07-TRAVASSOS(SC2).pdf). Acesso em: 28 set. 2022.

TRAVASSOS, G. H.; MOTTA, R. C.; OLIVEIRA, K. M. d. On challenges in engineering iot software systems. **Journal of Software Engineering Research and Development**, Journal of Software Engineering Research and Development, Porto Alegre, RS, v. 7, p. 5:1–5:20, 2019. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/journals/index.php/jserd/article/view/15>. Acesso em: 03 ago. 2021.

VALERI, V. **Quais as diferenças entre Wi-Fi 2.4GHz, 5GHz e 6GHz?** [S. l.]: Oficinadanet, 2023. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/internet/32268-wi-fi-2-4-ou-5ghz-quais-diferencas-e-qual-devo-usar>. Acesso em: 21 jun. 2023.

VARQUES, B. L. R. P.; COUTINHO, I. B. d. A.; CARNEVAL, V. P. d. O.; LIMA, M. F. d. **Zigbee**. Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/index.html. Acesso em: 03 ago. 2021.

ZANATTA, B. Casa ‘inteligente’ é cada vez mais realidade. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, SP, v. 46478, p. 2, Janeiro 2021.

ZARKO, I. P.; SOURSOS, S.; GOJMERAC, I.; OSTERMANN, E. G.; INSOLVIBILE, G.; PLOCIENNIK, M.; REICHL, P.; BIANCHI, G. Towards an iot framework for semantic and organizational interoperability. In: **GIoTS 2017 - Global Internet of Things Summit, Proceedings**. Geneva, Switzerland: IEEE Xplore, 2017. p. 1–6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8016253>. Acesso em: 03 jan. 2023.

APÊNDICE A – CONTEXTOS E CENÁRIOS APLICADOS NOS TESTES

Abaixo são apresentados os contextos e cenários aplicados nos testes.

Contextos:

- CT01 - Status: Porta fechada (sensor juntos).
- CT02 - Status: Porta aberta (sensor separado).
- CT03 - Status: Luz desligada/Off (Lâmpada desligada).
- CT04 - Status: Luz ligada/On (Lâmpada desligada).
- CT05 - Status: Sensor ligado (sensor com bateria/energia).
- CT06 - Status: Sensor desligado (sensor sem bateria/energia)

Os cenários consistem nos comportamentos e interações com outros dispositivos IoT durante os testes.

Cenários:

- PL01 - Ao abrir a porta, o sensor deverá acender a Luz/Plug Energia. Ao fechar a porta, o sensor deverá apagar a Luz/Plu energia.
- PL02 - Ao identificar vazamento de água enviar notificação (Dispositivo IoT não adicionado ao conjunto. Cenário não executado por falta do dispositivo).
- PL03 - Ao identificar presença, sensor deve enviar notificação para celular.
- PL04 - Ao desligar dispositivo e/ou abrir fechar a porta dispositivo manualmente, notificar celular.
- PL05 - Dispositivo desligado conforme programado.

Figura 10 – Pontuação dos Testes -Gateway

GATEWAY	APLICATIVOS				
	eWeLink - SH	Tuya Smart	MI Home	Positivo CI	Smart Life - SL
Aqara			x		
Sonoff	x				
Moes					x

Dispositivos Ligados na enegria 2 PL

moes	4
aqara	2
sonoff	1

Dispositivos Ligados com bateria 1 PL

GATEWAY/ APP	DISPOSITIVOS													
	Avatto		Aqara		Positivo		Xiaomi		Sonoff		Smatrul		Sem Marca	
	Plug 16A	Plug 16A	Sensor porta	Lâmpada	Plug 16A	Lâmpada	Plug 16A	Lâmpada	Sensor de presença	Lâmpada	Plug 16A	Plug 16A	Sensor porta	Sensor porta
	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz	ZigBee 3.0	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz	Wi-fi 2.4Ghz	Wi-fi 2.4Ghz	Bluetooth 5.0	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz
	ZOT10	OT12-16A	MCCGQ11 LM	ZNLDP12LM	PPW1000	PLW91	ZNC207CM	MJDP003	SNZB-04	B02-B-A60	CZ059W-ZIG-16*	CZ039W-WIF	19D2T	LR03
Aqara / MI Home			1	1										
Sonoff / EWeLink									1					
Moes/SmartLife - SL	1										1		1	
ID Contexto	CT05 e CT06		CT01, CT02	CT03, CT04					CT05 e CT06		CT05 e CT06		CT01,CT02	
Contexto Correto	2		2	2					1		2			
ID Cenários	PL01, PL05		PL04	PL04, PL01					PL03		PL01, PL05		PL04	
Cenários com sucesso	1		1	2					1		1		1	
Erros/Problemas	2										2		2	

Fonte: Figura capturada pelo autor.

Figura 11 – Pontuação dos Testes - Dispositivos Finais

APLICATIVOS	DISPOSITIVOS													
	Avatto		Aqara		Positivo		Xiaomi		Sonoff		Smatrul		Sem Marca	
	Plug 16A	Plug 16A	Sensor porta	Lâmpada	Plug 10A	Lâmpada	Plug 16A	Lâmpada	Sensor de presença	Lâmpada	Plug 16A	Plug 16A	Sensor porta	Sensor porta
	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz	ZigBee 3.0	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz	Wi-fi 2.4Ghz	Wi-fi 2.4Ghz	Bluetooth 5.0	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz	ZigBee 3.0	Wi-fi 2.4Ghz
	ZOT10	OT12-16A	MCCGQ11 LM	ZNLDP12LM	PPW1000	PLW91	ZNC207CM	MJDP003	SNZB-04	B02-B-A60	CZ059W-ZIG-16*	CZ039W-WIF	19D2T	LR03
MI Home		0			0	0	1	1		0		0		0
Positivo CI		0			1	1	0	0		0		0		0
EWeLink		0			0	0	0	0		1		0		0
SmartLife - SL		1			1	1	0	0		0		1		1
Tuya Smart		1			1	1	0	0		0		1		1
ID Contexto		CT05 e CT06			CT05 e CT06	CT05 e CT06	CT05 e CT06	CT03 e CT04		CT03 e CT04		CT05 e CT06		CT01, CT02
Contexto Correto		4			6	6	2	2		2		4		4
ID Cenários		PL01, PL05			PL01, PL05	PL05, PL04	PL04, PL05	PL04, PL05		PL04 e PL05		PL01, PL05		PL04
Cenários com sucesso		4			6	5	2	1		1		4		2
Erros/Problemas							0	1		1				
PONTUAÇÃO FINAL	4	10	4	5	15	14	5	4	3	4	4	10	2	8

Fonte: Figura capturada pelo autor.

APÊNDICE B – CHECKLIST PRIMEIRA VERSÃO

Checklist

Esta seção tem como objetivo apresentar a primeira versão elaborada do checklist.

Tipo de dispositivo: _____

Marca: _____ Modelo: _____

1 - Tecnologia de comunicação suportada pelo dispositivo | [Ponto: 1 (Para cada item selecionado)]

Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade dos dispositivos

- () Wi-fi 5Ghz
- () Wi-fi 2.4Ghz
- () Lan Ethernet (RJ-45)
- () IR (Infra-vermelho)
- () RF (Radiofrequência)
- () bluetooth
- () Zigbee
- () Rede mesh
- () Outro. R: _____

2 - O código fonte do dispositivo é aberto? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade sintática

- () SIM () NÃO

3 - O fabricante fornece alguma API para integrar o dispositivo com outros dispositivos? |

[Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade semântica

- () SIM () NÃO

4 - O fabricante fornece alguma documentação do dispositivo? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade de plataforma

- () SIM () NÃO

5 - O fabricante fornece algum tutorial de configuração do dispositivo? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade de plataforma

- () SIM () NÃO

6 - Protocolo de comunicação suportado pelo dispositivo | [Ponto: 1 (Para cada item selecionado)]

Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade da rede

PAN (Personal Area Network) TCP/IP SSH SSL ICMP

Outro(s). R: _____

7 - O dispositivo tem capacidade de comunicação direta com a Internet, sem a necessidade de utilizar um Gateway? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade semântica

SIM NÃO

8 - O dispositivo é acessível remotamente por meio de uma aplicação através da Internet? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade semântica

SIM NÃO

9 - O dispositivo está livre de restrições de conexão devido à regionalização? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade sintática

SIM NÃO

10 - A API está livre de restrições de funcionalidades devido à regionalização? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade sintática

SIM NÃO

APÊNDICE C – CHECKLIST VERSÃO ATUALIZADA

Checklist Atualizado

Esta seção tem como objetivo apresentar a primeira versão elaborada do checklist.

AVISO: O checklist deve ser aplicado em conjunto com dois ou mais dispositivos para que possam ser comparados entre si. É recomendado agrupar os dispositivos por tipo a fim de obter resultados mais eficazes na comparação. Por exemplo, realizar comparações entre gateways e outros gateways, assim como entre dispositivos finais, como lâmpadas, sensores, plugs e outros dispositivos semelhantes.

Tipo de dispositivo: _____

Marca: _____ Modelo: _____

1 - Tecnologia de comunicação suportada pelo dispositivo | [Ponto: 1 (Para cada item selecionado)]

Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade dos dispositivos

() Wi-fi 5Ghz

() Wi-fi 2.4Ghz

() Lan Ethernet (RJ-45)

() IR (Infra-vermelho)

() RF (Radiofrequência)

() bluetooth

() Zigbee

() Rede mesh

() Outro. R: _____

2 - O fabricante fornece alguma API para integrar o dispositivo com outros dispositivos? |

[Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade semântica

() SIM () NÃO

3 - O fabricante fornece alguma documentação do dispositivo? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade de plataforma

() SIM () NÃO

4 - O fabricante fornece algum tutorial de configuração do dispositivo? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade de plataforma.

SIM NÃO

5 - Protocolo de comunicação suportado pelo dispositivo | [Ponto: 1 (Para cada item selecionado)] Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade da rede

PAN (Personal Area Network) TCP/IP SSH SSL ICMP

Outro(s). R: _____

6 - O dispositivo tem capacidade de comunicação direta com a Internet, sem a necessidade de utilizar um Gateway? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade semântica

SIM NÃO

7 - O dispositivo é acessível remotamente por meio de uma aplicação através da Internet? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade semântica

SIM NÃO

8 - O dispositivo está livre de restrições de conexão devido à regionalização? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade sintática

SIM NÃO

9 - A API está livre de restrições de funcionalidades devido à regionalização? | [Ponto: 1]

Nível: Interoperabilidade sintática

SIM NÃO

10 - O dispositivo possui a função de Router? | [Ponto: 1]

(Melhoria - NOVA PERGUNTA) Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível:

Interoperabilidade dos dispositivos

SIM NÃO

11 - O dispositivo possui recurso de atualização do firmware? | [Ponto: 1]

(Melhoria - NOVA PERGUNTA)

Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade dos dispositivos e Nível: Interoperabilidade semântica

SIM NÃO

12 - O dispositivo possui a função de Coordenador? | [Ponto: 1]

(Melhoria - NOVA PERGUNTA)

Nível: Interoperabilidade técnica | Subnível: Interoperabilidade dos dispositivos

SIM NÃO