

**ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL****COMPARATIVE STUDY OF COMMUNICATION PROTOCOLS USED IN HOME AUTOMATION****ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN UTILIZADOS EN LA AUTOMATIZACIÓN RESIDENCIAL**Anderson Quintana¹, Fabiana Florian¹, Ronaldo Gomes Figueira¹

e5115936

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i11.5936>

PUBLICADO: 11/2024

RESUMO

A casa inteligente ou domótica envolve a integração de dispositivos e sistemas tecnológicos que podem ser controlados remotamente ou automatizados para melhorar o conforto, a segurança e a eficiência energética da residência. Este trabalho tem como objetivo comparar os diferentes protocolos de comunicação Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, Bluetooth, Thread, Insteon e KNX, utilizados na automação residencial. Foram comparadas características, aplicações, segurança, vantagens e desvantagens. Como método, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com abordagem qualitativa. Os resultados indicam que a escolha dos protocolos deve ser orientada pelas necessidades específicas do usuário. Entretanto, a combinação de diferentes protocolos de comunicação pode proporcionar um controle integrado, eficiência energética e segurança, oferecendo uma solução robusta e escalável para a automação residencial.

PALAVRAS-CHAVE: Protocolos de comunicação. Segurança doméstica. Eficiência energética. Integração de Sistemas.

ABSTRACT

Smart home or home automation involves the integration of technological devices and systems that can be controlled remotely or automated to improve the comfort, security, and energy efficiency of the home. This work aims to compare the different communication protocols Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, Bluetooth, Thread, Insteon and KNX, used in home automation. Features, applications, safety, advantages and disadvantages were compared. As a method, a bibliographic research was carried out with a qualitative approach. The results indicate that the choice of protocols should be guided by the specific needs of the user. However, the combination of different communication protocols can provide integrated control, energy efficiency, and security, offering a robust and scalable solution for home automation.

KEYWORDS: *Communication protocols. Home security. Energy efficiency. System integration.*

RESUMEN

La casa inteligente, o domótica, implica la integración de dispositivos y sistemas tecnológicos que pueden ser controlados de forma remota o automatizados para mejorar el confort, la seguridad y la eficiencia energética de la residencia. Este trabajo tiene como objetivo comparar los diferentes protocolos de comunicación Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, Bluetooth, Thread, Insteon y KNX, utilizados en la automatización del hogar. Se compararon características, aplicaciones, seguridad, ventajas y desventajas. Se realizó una investigación bibliográfica y un enfoque cualitativo. Los resultados indican que la elección de los protocolos debe estar orientada por las necesidades específicas del usuario. Sin embargo, la combinación de diferentes protocolos de comunicación puede proporcionar un control integrado, eficiencia energética y seguridad, ofreciendo una solución robusta y escalable para la automatización del hogar.

PALABRAS CLAVE: *Protocolos de comunicación. Seguridad del hogar. Eficiencia energética. Integración de sistemas.*

¹ Universidade de Araraquara - UNIARA.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

INTRODUÇÃO

A automação residencial envolve a aplicação de tecnologias para otimizar o uso de recursos, melhorar o conforto e a segurança dos moradores, além de proporcionar maior eficiência energética. Ela pode ser utilizada desde o controle de iluminação e climatização até em gestão de sistemas de segurança e eletrodomésticos inteligentes. Para que isso seja possível são necessários protocolos responsáveis pela comunicação entre os dispositivos e a internet.

O primeiro protocolo criado em 1975 foi o X10, pela empresa Pico Eletrônica de Glenrothes, utilizando a rede elétrica do local para sinalizar e controlar os aparelhos domésticos (Rye, 1999). Depois dele, e com a evolução da tecnologia, vários outros protocolos foram desenvolvidos e utilizados em diferentes dispositivos, como o *Zigbee*, *Z-Wave*, *Wireless Fidelity (Wi-fi)* e *Bluetooth*, *Thread*, *Insteon* e *Konnex (KNX)*.

De acordo com a Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial (Aureside), o crescimento esperado do mercado de automação no Brasil é de 22% até o final de 2025, e deve gerar um faturamento de US\$ 3,1 bilhões nos próximos anos, automatizando aproximadamente 1,2 a 2,2 milhões de residências. Para Consumer Reports, a maioria dos compradores (mais de 60%) deseja ter algum tipo de tecnologia inteligente em sua casa, como termostatos, detectores de fumaça e câmeras de segurança inteligentes (Kosten-Haus Tecnologia Residencial, 2021). No entanto, apesar dessa demanda de crescimento do mercado de automação residencial, muitos profissionais enfrentam dificuldades na escolha do protocolo mais adequado para cada projeto.

A hipótese deste trabalho é que a comparação dos diferentes protocolos de comunicação utilizados na automação residencial poderá contribuir significativamente para a otimização da implementação de sistemas inteligentes em residências. O estudo pretende auxiliar profissionais e entusiastas na tomada de decisões informadas e eficientes, superando as dificuldades enfrentadas na escolha dos protocolos mais adequados para cada projeto de automação residencial.

O objetivo deste trabalho é comparar os diferentes protocolos de comunicação *Zigbee*, *Z-Wave*, *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *Thread*, *Insteon* e *KNX* utilizados na automação residencial comparando suas características, aplicações, segurança, vantagens e desvantagens. Como objetivos específicos, busca-se: Identificar as principais características técnicas de cada protocolo de comunicação; Analisar as aplicações mais comuns de cada protocolo no contexto da automação residencial; Avaliar os níveis de segurança oferecidos por cada protocolo, levando em consideração a vulnerabilidade a invasões e a proteção de dados; Identificar as vantagens e desvantagens de cada protocolo em termos de facilidade de implementação, compatibilidade com outros dispositivos e escalabilidade; e, Investigar a interoperabilidade entre diferentes protocolos e a viabilidade de utilizar uma combinação de tecnologias para alcançar soluções mais robustas e eficientes.

Foi realizada pesquisa bibliográfica com foco em protocolos de automação, e foi realizada uma abordagem qualitativa.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS EM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL E DE INTERNET DAS COISAS (IOT)

Nesta seção foram apresentados os protocolos de comunicação utilizados em sistemas de automação residencial e de IoT: Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, Bluetooth, Thread, Insteon e KNX.

PROTOCOLO ZIGBEE

O *Zigbee* é um protocolo, baseado no padrão IEEE 802.15.4, de rede sem fio global e aberto, mantido pela *Zigbee Alliance*, que opera em uma topologia de rede *mesh*. Utiliza criptografia *Advanced Encryption Standard (AES)-128* ou padrão avançado de encriptação para proteger a comunicação entre os dispositivos, o que oferece um nível razoável de proteção contra interceptação e acesso não autorizado. Com sua faixa de frequência de 2,4 GHz e baixo consumo de energia, o *Zigbee* permite a transmissão de dados por distâncias maiores através de "nós" intermediários, atuando como repetidores de sinal. Este padrão oferece suporte a diversas topologias de rede e mais de 65.000 nós por rede, tornando-o ideal para aplicações de automação residencial, comercial e industrial.

Estudo de Ma *et al.*, (2022) exploraram métodos para reduzir o consumo de energia em redes *Zigbee* utilizando o módulo XBee S2C. O foco principal do estudo foi analisar como diferentes configurações de comunicação e estratégias de gerenciamento de energia podem ser ajustadas para melhorar a eficiência energética. Os resultados foram baseados em experimentos práticos que demonstram como otimizações específicas podem prolongar a vida útil das baterias em dispositivos *Zigbee*.

Praveen, Raqza e Hasib (2023) abordaram a tecnologia *Zigbee*, explorando sua arquitetura de protocolo e as especificações técnicas que a tornam adequada para redes sem fio de baixo consumo e curta distância. Também examinaram as diversas aplicações do *Zigbee*, incluindo automação residencial, monitoramento industrial e dispositivos IoT, destacando como o protocolo facilita a comunicação eficiente e confiável em ambientes com restrições de energia.

Haque, Abdelgawad e Yelamarthi (2022) focaram em uma análise aprofundada do desempenho do protocolo *Zigbee* utilizando o módulo XBee S2C, avaliando variáveis como atraso de ponta a ponta, taxa de transferência de dados e perda de pacotes em diferentes cenários experimentais. O estudo demonstrou-se significativo para aplicações onde a eficiência e a confiabilidade da comunicação sem fio são cruciais, especialmente em redes de sensores e automação.

De acordo com um estudo feito por Latini (2023), a introdução de tecnologia digital habilitada para rede no ambiente doméstico tem sido gradual. O potencial do *Zigbee* para abordar as questões de adoção lenta de sistemas de automação residencial, propondo uma arquitetura flexível que integra dispositivos *Zigbee* e redes *Wi-Fi* através de um *gateway* doméstico comum. Esse *gateway* proporciona interoperabilidade de rede, uma interface de usuário simples e acesso remoto ao sistema, abordando preocupações de segurança através de uma casa virtual dedicada. A eficácia dessa abordagem foi demonstrada através do desenvolvimento e avaliação de dispositivos *Zigbee*,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

como interruptores de luz, válvulas de radiador, sensores de segurança e controles remotos, integrados ao sistema de automação residencial (Marksteiner *et al.*, 2024).

Lueth (2024) relacionou que, apesar de suas vantagens, o *Zigbee* enfrenta limitações, como a necessidade de "nós" ligados à energia e a exigência de *gateways* para comunicação com dispositivos não equipados com o *chip Zigbee*. Sua interoperabilidade, facilidade de configuração e documentação abrangente o tornam uma escolha popular para uma variedade de aplicações de rede sem fio. No entanto, a configuração inicial de segurança pode ser complicada, e erros na implementação podem deixar a rede vulnerável a ataques, a banda de 2,4 GHz, pode sofrer interferências de outros dispositivos comuns, como roteadores Wi-Fi, micro-ondas e telefones sem fio, o que pode afetar a estabilidade e a *performance* da rede.

Ainda assim, o protocolo *Zigbee* é amplamente utilizado em sistemas de controle de iluminação e segurança residencial. Um exemplo prático é o uso de lâmpadas inteligentes *Zigbee*, como as da *Philips Hue*, que permitem controle de iluminação através de um *hub* central (Gislason, 2018).

PROTOCOLO Z-WAVE

O *Z-Wave* é um protocolo de rede sem fio projetado para facilitar a comunicação entre uma variedade de dispositivos eletrônicos em ambientes residenciais, como lâmpadas, termostatos, fechaduras e sensores. Proporciona uma automação residencial simples e eficiente, permitindo o controle centralizado de vários aparelhos através de um único sistema. Compatível com diversas marcas e modelos de dispositivos, sua facilidade de uso é evidenciada pelo controle via *smartphone* ou controle remoto, dispensando a necessidade de fios ou cabos (San Ramon, 2024).

A capacidade do *Z-Wave* de criar redes em malha amplia a cobertura, garantindo a conectividade mesmo para dispositivos distantes do centralizador. Além disso, sua frequência de rádio específica reduz interferências e aumenta a segurança das transmissões, garantindo uma automação residencial confiável e segura.

O estudo de Hwang *et al.*, (2022) apresenta o desenvolvimento e a implementação de um *gateway Z-Wave* para sistemas de automação residencial, em que avaliaram o desempenho do protocolo em termos de tempo de execução de comandos discutindo suas limitações, com base em uma experiência prática.

Du *et al.* (2023) analisaram a segurança do protocolo *Z-Wave*, especialmente em relação ao processo de troca de chaves entre o controlador e os nós, utilizando ferramentas CPN para modelar o protocolo *Z-Wave S2* e introduzir o modelo de ataque *Dolev-Yao* para verificar o comportamento de segurança do protocolo. Os resultados mostraram que há um ataque *man-in-the-middle* ao usar a autenticação *S2* para inclusão de dispositivos. Em resposta a essa vulnerabilidade, propuseram esquema de autenticação estática leve baseado na função HKDF e na operação XOR, que realiza a autenticação entre o controlador *Z-Wave* e o dispositivo escravo. Em seguida verificaram os objetivos de segurança do esquema aprimorado levando a provar que o esquema de otimização pode



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

efetivamente prevenir ataques *man-in-the-middle* no modo de segurança S2 para modelar o protocolo e identificar vulnerabilidades, propondo melhorias para aumentar a segurança.

Boucif *et al.*, (2020) investigaram novas vulnerabilidades no protocolo *Z-Wave*, focando em ataques de negação de serviço e seu impacto em redes domésticas inteligentes, detalhando dois tipos de ataques, ambos utilizando pacotes não criptografados modificados, que são usados na fase de inclusão e durante a operação normal, com comandos *Nonce Get/S2 Nonce Get* e *Find Nodes In Range*, demonstrando que podem ser manipulados e usados para bloquear o processamento de comunicação de um *gateway Z-Wave*, o que, por sua vez, desabilita toda a rede *Z-Wave* conectada a ele, e com base nisso sugerem medidas para mitigar os riscos associados.

Segundo Yassein, Mardini e Khalil (2016), o *Z-Wave* oferece uma série de vantagens em relação a outros protocolos como o *ZigBee*, incluindo maior confiabilidade, facilidade de uso e interoperabilidade. Em resumo, o *Z-Wave* proporciona uma automação residencial simples, prática e segura, permitindo o controle de diversos dispositivos eletrônicos de forma conveniente.

Protocolos como *ZigBee* e *Z-Wave* criam redes *mesh* dedicadas, permitindo a comunicação entre dispositivos inteligentes sem depender da conexão à internet (Kosten-haus tecnologia residencial, 2022). Essas redes são eficientes na distribuição do sinal pela casa, oferecendo maior alcance e estabilidade.

Z-Wave é usado em sistemas de automação residencial para controle de fechaduras inteligentes e termostatos. Um exemplo é a linha de fechaduras inteligentes *Yale Assure*, que utiliza o protocolo para integração com sistemas de segurança residencial (Yale, 2024).

PROTOCOLO WIRELESS FIDELITY (WI-FI)

O protocolo *Wi-Fi* é uma tecnologia de comunicação sem fio que permite a conexão de dispositivos eletrônicos a redes de internet sem a necessidade de cabos físicos. Introduzido em 1997, o *Wi-Fi* se tornou uma parte essencial da infraestrutura de comunicação moderna, permitindo a conectividade em residências, empresas e espaços públicos. Baseado na família de padrões IEEE 802.11, funciona na faixa de frequência de 2,4 GHz e 5 GHz, oferecendo uma combinação entre velocidade de transmissão de dados e alcance. As versões mais recentes, como o *Wi-Fi 6*, introduziram melhorias significativas na eficiência, latência e capacidade da rede, especialmente em ambientes densamente povoados (Apavatjirut; Kamdee, 2021).

A automação residencial via *Wi-Fi* aproveita essa infraestrutura de rede sem fio padrão utilizada para conectar-se à internet. Com dispositivos compatíveis, conectados ao mesmo roteador *Wi-Fi* utilizado para acesso à *web*, é possível automatizar itens domésticos. Essa abordagem depende da rede de internet do usuário e pode ser controlada por meio de aplicativos móveis ou assistentes virtuais como a *Alexa* e o *Google Home*.

A segurança no uso do *Wi-Fi* tem sido um tema de constante evolução. Inicialmente, os protocolos de segurança, como o *Wired Equivalent Privacy* (WEP), apresentavam vulnerabilidades que poderiam ser exploradas por atacantes. Em resposta, novos protocolos como o *Wi-Fi Protected Access* (WPA) e WPA2 foram desenvolvidos, utilizando criptografia mais robusta e autenticação



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

baseada em chaves dinâmicas (Kurose; Ross, 2017). O WPA3, a versão mais recente, trouxe melhorias adicionais, incluindo criptografia mais forte e proteção contra-ataques de força bruta. Esses avanços são fundamentais para proteger dados sensíveis em redes sem fio, especialmente em um cenário onde o uso de dispositivos móveis e a IoT estão em constante crescimento.

Além de sua popularidade em redes domésticas, de acordo com Rappaport (2024), o *Wi-Fi* desempenha um papel crucial na implementação de tecnologias emergentes, como redes de sensores sem fio, *smart cities*, e o desenvolvimento da 5G. As inovações nas camadas físicas e de enlace de dados do *Wi-Fi* permitiram que essa tecnologia mantivesse sua relevância frente a outras soluções de conectividade sem fio, como o *Bluetooth* e o *Long-Term Evolution* (LTE). As pesquisas atuais exploram novas aplicações do *Wi-Fi*, como a utilização da tecnologia para a detecção de movimento e para a comunicação em ambientes de baixa potência, apontando para um futuro em que esse recurso continuará a ser um pilar da conectividade global.

No entanto, enquanto a automação via *Wi-Fi* oferece uma ampla variedade de dispositivos a preços acessíveis e fácil instalação, sua desvantagem inclui a dependência da conexão à internet, interferências e consumo energético elevado. Essa abordagem também apresenta vulnerabilidades de segurança, com riscos de hackeamento.

Wi-Fi é frequentemente utilizado em câmeras de segurança e sistemas de controle de energia. Um exemplo é o *Nest Thermostat*, que utiliza para se conectar à internet e permitir o controle remoto via *smartphone* (Nest Thermostat, 2024).

PROTOCOLO BLUETOOTH

O *bluetooth* é uma tecnologia de comunicação sem fio que possibilita a conexão entre dispositivos eletrônicos em curta distância, como *smartphones*, computadores, e dispositivos de áudio. Desenvolvido em 1994 pela Ericsson, o *Bluetooth* foi inicialmente projetado para substituir cabos de dados entre dispositivos móveis e computadores pessoais. Opera na faixa de frequência Industrial, *Scientific, and Medical* (ISM) de 2,4 GHz, utilizando um esquema de salto de frequência (*frequency hopping*) que melhora a resistência a interferências e aumenta a segurança da comunicação (Woolley, 2020).

Segundo Phipps (2024), a troca de dados e voz entre dispositivos próximos, tem alcance máximo de cerca de 9 metros e uma velocidade de transferência de até 24 Mbps.

O *Bluetooth* desempenha um papel importante na integração de dispositivos em ambientes de automação e em soluções de mobilidade, como a conexão de sistemas de áudio em veículos. A versão mais recente, *Bluetooth 5.2*, introduziu melhorias como o *Low Energy Áudio*, que oferece maior qualidade de som e novas funcionalidades, como transmissão de áudio para múltiplos dispositivos. Essas inovações são fundamentais para suportar o crescente número de dispositivos conectados e garantir uma experiência de usuário eficiente e integrada (Morrow, 2020).

Uma das principais características do *Bluetooth* é a sua capacidade de formar redes pessoais sem fio (WPANs), conectando vários dispositivos em um alcance limitado. Ao longo dos anos evoluiu significativamente com a introdução de novas versões que aumentaram a velocidade de transmissão



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

de dados, reduziram o consumo de energia e expandiram as capacidades de rede (Feu, Pereira; Simões, 2024), resultando em diferentes protocolos *Bluetooth*, cada um atendendo a necessidades específicas.

O *bluetooth classic* oferece uma alta taxa de transferência de dados, atingindo até 2,1 Mbps, protocolo ideal para dispositivos que exigem largura de banda, como fones de ouvido e impressoras. Opera com uma arquitetura cliente-mestre, onde um dispositivo mestre pode se comunicar com até sete dispositivos clientes, formando uma pequena rede local (Moreira, 2017).

Já o *Bluetooth Low Energy* (BLE) foi desenvolvido para ser eficiente em termos de energia, introduzido na versão 4.0, permitiu a criação de dispositivos IoT com baixo consumo de energia, viabilizando aplicações em áreas como saúde, *fitness* e automação residencial (Al-Shareeda *et al.*, 2023).

Apesar de oferecer uma menor largura de banda em comparação com o *Bluetooth Classic*, o BLE é ideal para dispositivos que funcionam com baterias pequenas, como sensores e dispositivos de rastreamento. Opera com uma arquitetura cliente-servidor, permitindo que o *hardware* utilize apenas os recursos necessários, o que reduz significativamente o consumo de energia (Al-Shareeda *et al.*, 2023).

Por fim, o *bluetooth mesh* estende as funcionalidades do BLE, possibilitando a criação de redes *mesh* onde os dispositivos podem atuar como repetidores de sinal. Diferente dos protocolos anteriores, o *bluetooth mesh* não possui um limite fixo para o número de dispositivos em uma rede, teoricamente suportando mais de 32 mil "nós". Esse protocolo é ideal para aplicações de automação residencial e ambientes onde é necessário cobrir grandes áreas com uma rede de dispositivos interconectados (Bastos, 2020).

Assim, o *bluetooth classic* é adequado para dispositivos que requerem alta largura de banda, o BLE é ideal para dispositivos com restrições de energia, e o *bluetooth mesh* é utilizado em aplicações que demandam cobertura ampla e flexibilidade na rede.

O BLE é utilizado em dispositivos como fechaduras inteligentes e sistemas de controle de ambiente. Um exemplo é a fechadura *August Smart Lock*, usa essa versão para se conectar a dispositivos móveis (August.com, 2024).

PROTOCOLO *THREAD*

Thread é um protocolo de comunicação sem fio baseado em IP, projetado para facilitar a conexão e comunicação entre dispositivos compatíveis de forma simples e segura, desenvolvido especificamente para a IoT. Criado em 2014 pela *Threa Group*, um consórcio que inclui empresas como *Google*, *Qualcomm*, e *ARM*, foi projetado para ser um protocolo de rede *mesh* confiável, seguro e escalável. Opera na banda de 2,4 GHz, utilizando o padrão IEEE 802.15.4, semelhante ao *Zigbee*, mas com melhorias que incluem melhor suporte para IPv6, o que facilita a integração com a internet e a comunicação entre diferentes dispositivos IoT (Thread Group, 2018).

Uma das principais vantagens é sua capacidade de criar redes *mesh* autorrecuperáveis, onde cada dispositivo atua como um roteador, aumentando a robustez da rede. Além disso é altamente



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

eficiente em termos de energia, tornando-o ideal para dispositivos alimentados por baterias, como sensores e atuadores em casas inteligentes. A segurança é outro aspecto crucial do protocolo, com criptografia baseada em AES e um sistema de autenticação robusto que protege contra acesso não autorizado e ataques cibernéticos (Silicon Labs, 2020). Segundo a OpenThread (2023), suas vantagens incluem segurança, simplicidade, baixo consumo de energia e capacidade de atuação. O protocolo oferece mecanismos de criptografia para garantir a segurança das comunicações, simplificando a configuração e a expansão de dispositivos conectados. Além disso, é ideal para dispositivos IoT que não estão ligados à rede elétrica, proporcionando eficiência energética e prolongando a vida útil das baterias.

O Thread também se destaca pela interoperabilidade com outros protocolos e sistemas, como *Wi-Fi* e *Bluetooth*, permitindo uma integração perfeita em ambientes já existentes. Sua compatibilidade com *Matter* (anteriormente conhecido como Project CHIP), um padrão emergente para dispositivos IoT, reforça sua posição como um dos principais protocolos para a criação de redes domésticas inteligentes. Com essas características, o *Thread* está bem-posicionado para ser uma tecnologia central no ecossistema IoT, especialmente em aplicações que exigem alta confiabilidade, segurança e eficiência energética (Sharma, 2024).

Em resumo, o *Thread* é uma tecnologia que promove a conectividade eficiente e segura entre dispositivos IoT, proporcionando aos usuários uma experiência simplificada e confiável na automação residencial e em outros cenários de aplicação. Essas características o levam a ser utilizado em sistemas de iluminação inteligente e sensores de ambiente. Um exemplo prático é o sistema de iluminação *Nanoleaf Essentials*, que usa *Thread* para comunicação eficiente entre dispositivos (Dias *et al.*, 2021).

PROTOCOLO INSTEON

O protocolo *Insteon* é uma tecnologia de automação residencial que combina comunicação via rádio frequência (RF) e sinais de energia elétrica existentes (*powerline*) para criar uma rede de dispositivos interconectados dentro de uma casa. Desenvolvido pela SmartLabs em 2001, foi projetado para ser uma solução de automação doméstica acessível e fácil de instalar, permitindo o controle de iluminação, termostatos, câmeras de segurança e outros dispositivos eletrônicos de maneira integrada. A combinação de comunicação por RF e *powerline* oferece uma redundância que aumenta a confiabilidade da rede, garantindo que os comandos sejam transmitidos mesmo se uma das vias de comunicação falhar (Andrade, 2024). Assim, permite o controle remoto e automatizado de uma variedade de dispositivos eletrônicos, como iluminação, tomadas, termostatos e sensores.

As vantagens do protocolo *Insteon* incluem sua confiabilidade, devido à comunicação bidirecional que permite confirmações de recebimento de comandos, reduzindo falhas de comunicação. Além disso, sua facilidade de instalação é uma vantagem significativa, pois não requer cabos adicionais e utiliza a fiação elétrica existente na casa. Isso torna o sistema ideal para atualizações em residências já construídas (Fcamara Blog, 2017). Para Dawoud, S. e Dawoud, P., (2020) uma das principais vantagens é sua capacidade de criar uma rede *mesh*, onde cada



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

dispositivo pode repetir sinais para outros, ampliando o alcance e a cobertura da rede. Além disso, é conhecido por sua baixa latência, permitindo que os comandos sejam executados quase instantaneamente, o que é crucial em aplicações de automação residencial, como o controle de iluminação e sistemas de segurança. O protocolo também suporta a comunicação bidirecional, permitindo que os dispositivos enviem confirmações de recebimento dos comandos, o que aumenta a confiabilidade do sistema (Dawoud, S.; Dawoud, P., 2020).

A flexibilidade do sistema permite controle remoto dos dispositivos por meio de aplicativos em *smartphones*, *tablets* ou controles remotos dedicados, é altamente escalável, permitindo a adição de novos dispositivos conforme necessário e a criação de cenários personalizados de automação, como acionamento de luzes, ajuste de temperatura e abertura de persianas, de acordo com horários específicos ou eventos.

Observa-se que as aplicações do protocolo *Insteon* são variadas e abrangem diferentes aspectos da automação residencial. Ele pode ser usado para controlar a iluminação em toda a casa, criar ambientes personalizados com ajuste de intensidade e cor da luz, gerenciar o consumo de energia por meio de tomadas inteligentes e termostatos programáveis, além de fornecer segurança adicional com sensores de movimento e câmeras integradas ao sistema (Smarter Home, 2024).

No entanto, apesar de suas vantagens, o *Insteon* enfrenta desafios em um mercado cada vez mais competitivo, especialmente com o crescimento de outros protocolos de automação residencial, como *Z-Wave* e *Zigbee*. Porém, sua capacidade de operar em diferentes tipos de infraestrutura (RF e *powerline*) e sua compatibilidade com uma ampla gama de dispositivos ainda o tornam uma escolha popular para entusiastas de automação residencial. Com o avanço das tecnologias e a integração de sistemas como o *Amazon Alexa* e *Google Home*, o *Insteon* continua a evoluir, oferecendo novas funcionalidades e mantendo-se relevante no mercado de automação doméstica (Fairbanks, 2024). Em resumo, o protocolo oferece uma solução abrangente e conveniente para a automação residencial, proporcionando controle flexível, confiável e personalizado sobre diversos dispositivos dentro de casa.

Como já mencionado, o *Insteon* é utilizado em sistemas de controle de iluminação e controle de energia residencial. Um exemplo é o sistema de automação *Insteon Hub*, que integra iluminação e controle de dispositivos via RF e *powerline* (Coelho; Cruz, 2017).

PROTOCOLO KONNEX (KNX)

O protocolo KNX é um padrão de comunicação amplamente utilizado em sistemas de automação residencial e predial. Desenvolvido em 1990 pela associação KNX, o protocolo surgiu da fusão de três tecnologias anteriores: *BatiBUS*, *European Installation Bus* (EIB) e *European Home Systems Protocol* (EHS). O KNX é baseado em uma arquitetura por sua arquitetura de barramento, descentralizada que permite a comunicação entre diferentes dispositivos e sistemas de forma eficiente e sem a necessidade de um controlador central, o que o torna extremamente flexível e escalável para aplicações em projetos de pequena a grande escala (Arias, 2022).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

Logo, uma das principais características do protocolo KNX é a sua interoperabilidade, pois é um padrão aberto adotado por uma variedade de fabricantes. Isso possibilita que dispositivos de diferentes marcas possam se comunicar entre si de maneira eficiente, proporcionando uma ampla gama de opções para os usuários. Além disso, oferece confiabilidade, segurança e flexibilidade, sendo capaz de suportar dispositivos como iluminação, persianas, sistemas de climatização, segurança e muito mais (Sapundzhi, 2020).

Devido ao rigoroso processo de certificação da *KNX Association*, todos os dispositivos que operam sob o padrão KNX são compatíveis entre si, independentemente do fabricante. Isso facilita a integração de produtos de diferentes fornecedores em um único sistema de automação. Além disso, suporta diferentes meios físicos de comunicação, incluindo par trançado (*twisted pair*), RF, redes IP e *powerline*, oferecendo aos integradores de sistemas uma ampla gama de opções para a implementação de soluções personalizadas (Neuron Team, 2023).

O protocolo KNX também se destaca por suas capacidades de configuração e programação, que são realizadas através do *software Engineering Tool Software (ETS)*. Este *software* permite que integradores configurem dispositivos e programem cenários de automação de acordo com as necessidades específicas do usuário. O KNX é altamente seguro, com suporte para criptografia e autenticação, o que é essencial em um ambiente onde a segurança e a privacidade são cada vez mais importantes. Como resultado, continua a ser uma das principais escolhas para automação de edifícios em todo o mundo, sendo utilizado em projetos residenciais, comerciais e industriais (Graveto; Simões, Cruz, 2023).

Uma desvantagem do protocolo KNX é que, apesar de sua versatilidade, sua implementação inicial pode ser mais complexa em comparação com outras soluções de automação residencial. Isso se deve à necessidade de planejamento cuidadoso da instalação e configuração dos dispositivos, bem como à dependência de profissionais especializados para garantir um funcionamento adequado.

As aplicações do KNX são diversas, utilizado principalmente em sistemas de controle de iluminação, aquecimento, ventilação, segurança e outros serviços prediais (Sapundzhi, 2020) abrangendo desde residências até edifícios comerciais e industriais. Ele pode ser utilizado para controle de iluminação em toda a casa ou prédio, automação de sistemas de climatização para otimização do consumo de energia, gerenciamento de segurança com sensores e alarmes integrados, além de monitoramento e controle do uso de energia em tempo real (Sapundzhi, 2020). Um exemplo de uso é o sistema de automação em edifícios residenciais da empresa Gira, que utiliza KNX para integração completa de diversos sistemas de controle.

COMPARAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO ZIGBEE, Z-WAVE, WI-FI, BLUETOOTH, THREAD, INSTEON E KNX

O Quadro 1 apresenta as vantagens e as desvantagens de cada protocolo com foco na automação residencial.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens protocolos de automação residencial (continua)

Protocolo	Vantagens	Desvantagens
<i>Zigbee</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo consumo de energia: Ideal para dispositivos alimentados por bateria. - Rede mesh: Melhora a cobertura / confiabilidade; interoperabilidade entre diferentes fabricantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Largura de banda limitada: Pode ser menos adequado para aplicações de alta demanda de dados. - Requer um hub central; pode ter interferência de redes Wi-Fi.
<i>Z-Wave</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Interoperabilidade: Alta compatibilidade entre produtos de diferentes fabricantes. - Rede <i>mesh</i>: Aumenta a confiabilidade e o alcance da rede; baixa interferência com outros dispositivos; boa cobertura de sinal, ideal para dispositivos de segurança. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faixa de frequência variada: Pode ter restrições de uso dependendo da região. - Velocidade de transmissão mais baixa comparada a outros protocolos; depende de um <i>hub</i> central.
<i>Wi-Fi</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Alta largura de banda: Adequado para <i>streaming</i> de vídeo e aplicações de alta demanda. - Ampla cobertura e disponibilidade: Utiliza a infraestrutura existente de redes Wi-Fi. - Alta velocidade de transmissão; fácil integração com dispositivos existentes; ampla compatibilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto consumo de energia: Menos eficiente para dispositivos de baixa potência. - Sobrecarga de rede se muitos dispositivos estiverem conectados.

(continuação)

Protocolo	Vantagens	Desvantagens
<i>Bluetooth</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo consumo de energia: ideal para automação de curto alcance, como controle de iluminação e portas ideal para dispositivos pequenos e móveis (especialmente com BLE). - Fácil emparelhamento: Simples de configurar e usar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alcance limitado: Menos adequado para grandes áreas ou múltiplos dispositivos em uma rede. - Pode ser menos confiável em redes grandes.
<i>Thread</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Rede <i>mesh</i>: Aumenta a cobertura e a confiabilidade, alta segurança e eficiência energética. - Baixo consumo de energia: Eficiente para dispositivos alimentados por bateria. - Protocolo baseado em IP, permitindo fácil integração com a Internet; 	<ul style="list-style-type: none"> - Novidade no mercado: Menos dispositivos compatíveis comparado com protocolos mais estabelecidos (comparado ao <i>Zigbee</i> e <i>Z-Wave</i>)
<i>Insteon</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicação híbrida: Utiliza RF e <i>powerline</i> para melhorar a confiabilidade. Rede <i>mesh</i>: Expande a cobertura e a robustez da rede. - Fácil de instalar em sistemas elétricos existentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menos suporte de mercado: Menos compatível com outros sistemas em comparação com protocolos mais universais. - Pode ser mais caro que outros protocolos; menos popular fora dos EUA.
KNX	<ul style="list-style-type: none"> Interoperabilidade: Dispositivos certificados são compatíveis entre si. Flexibilidade: Suporta diversos meios de comunicação, incluindo par trançado, RF e IP. - Robustez e confiabilidade, especialmente em grandes instalações; ideal para projetos comerciais e residenciais de luxo 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexidade de instalação: Pode exigir configuração mais especializada, custos elevados.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

A comparação desses protocolos revela que cada um possui características que o tornam mais adequado para diferentes contextos. *Zigbee* e *Z-Wave* são eficientes em termos de energia e confiáveis graças às suas redes *mesh*, mas têm limitações como a necessidade de um *hub* central e menor largura de banda. O *Wi-Fi* oferece alta velocidade e ampla compatibilidade, ideal para aplicações que demandam maior capacidade de dados, mas consome mais energia e pode sobrecarregar a rede. O *Bluetooth* é prático para pequenos dispositivos e fácil de configurar, mas seu alcance limitado pode ser um obstáculo em áreas maiores. *Thread* apresenta alta segurança e eficiência energética, embora ainda esteja em estágio inicial de adoção. *Insteon* melhora a confiabilidade utilizando uma comunicação híbrida, mas é menos popular e pode ser mais caro. Já o *KNX* é robusto e ideal para grandes instalações, mas sua complexidade e custo elevado limitam sua aplicabilidade em projetos menores. Portanto, a escolha do protocolo deve ser feita com base nas necessidades específicas do projeto, balanceando fatores como eficiência energética, cobertura, facilidade de uso e custo.

Os protocolos *Zigbee* e *Z-Wave* são amplamente utilizados na comunicação entre dispositivos de automação residencial e IoT, cada um com suas características, vantagens e desvantagens, além de diferentes abordagens de segurança. A Tabela 1 fornece uma visão geral das principais diferenças e similaridades entre *Zigbee* e *Z-Wave*, ajudando na escolha do protocolo ideal dependendo do caso de uso específico.

Tabela 1 - Comparativa entre os protocolos *Zigbee* e *Z-Wave*

Característica	<i>Zigbee</i>	<i>Z-Wave</i>
Frequência de Operação	2.4 GHz (global), 868/915 MHz (algumas regiões)	868 MHz (Europa) / 908 MHz (América do Norte)
Alcance	10-100 metros (dependendo das condições)	30-100 metros (dependendo das condições)
Taxa de Transferência	Até 250 kbps	Até 100 kbps
Consumo de Energia	Baixo	Muito baixo
Topologia da Rede	<i>Mesh</i>	<i>Mesh</i>
Número de Dispositivos	Suporta até 65.000 dispositivos por rede	Suporta até 232 dispositivos por rede
Interoperabilidade	Alta (padrão aberto, usado por várias marcas)	Moderada (padrão proprietário, menos marcas)
Segurança	AES-128 bit	AES-128 bit
Latência	Baixa	Baixa
Certificação e Compatibilidade	Certificação Zigbee Alliance	Certificação Z-Wave Alliance
Mercado de Aplicação	Automação residencial, industrial, IoT	Principalmente automação residencial
Complexidade de Implementação	Moderada a alta (devido à flexibilidade)	Relativamente simples
Custo dos Dispositivos	Geralmente mais baixo	Geralmente mais alto
		868 MHz (Europa) / 908 MHz (América do Norte)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Observa-se que o *Zigbee* é mais flexível e com maior capacidade de dispositivos, utilizado em uma ampla gama de aplicações IoT, tanto industriais quanto residenciais. Devido à sua natureza de padrão aberto, é suportado por mais fabricantes, o que pode resultar em maior interoperabilidade. O



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

protocolo *Z-Wave* é focado principalmente na automação residencial com uma boa relação entre alcance, confiabilidade e baixo consumo de energia. É um padrão proprietário, o que pode limitar a compatibilidade entre diferentes marcas, mas a simplicidade de implementação pode ser uma vantagem.

Em relação à segurança, o *Z-Wave* também usa criptografia AES-128, mas seu protocolo de segurança mais recente, o *Security 2 (S2)*, introduzido em 2017, oferece camadas adicionais de proteção. O S2 inclui a autenticação baseada em QR code ou códigos PIN para dispositivos, mitigando o risco de dispositivos não autorizados entrarem na rede. Esta melhoria na segurança torna o *Z-Wave* mais resistente a ataques como a falsificação de dispositivos ou a interceptação de dados. No entanto, o *Z-Wave* possui algumas limitações. Sua velocidade de comunicação é geralmente menor em comparação com o *Zigbee*, o que pode ser um fator importante em aplicações que exigem transferência rápida de dados. Além disso, enquanto o *Zigbee* pode suportar milhares de dispositivos em uma rede, o *Z-Wave* é limitado a 232 dispositivos, o que pode ser insuficiente para instalações muito grandes ou complexas. Por fim, o *Z-Wave* é um protocolo proprietário, controlado pela *Z-Wave Alliance*, o que pode limitar a flexibilidade e aumentar os custos para os desenvolvedores e fabricantes.

Em termos de aplicação prática, a escolha entre *Zigbee* e *Z-Wave* dependerá das necessidades específicas do usuário. Para aqueles que valorizam uma ampla cobertura de rede e baixo consumo de energia, especialmente em instalações grandes ou com muitos dispositivos, o *Zigbee* pode ser a melhor escolha. Por outro lado, para consumidores que preferem uma rede com menor risco de interferência e garantias robustas de compatibilidade e segurança entre dispositivos, o *Z-Wave* pode ser mais atraente. Em última análise, ambos os protocolos têm suas próprias fortalezas e fraquezas, e a decisão deve ser baseada nas prioridades e requisitos específicos de cada instalação de automação residencial, incluindo considerações de segurança.

MÉTODO

O método corresponde a uma pesquisa qualitativa exploratória com abordagem teórico-prática. A pesquisa exploratória possibilitou familiaridade com o tema levantando informações sobre as características, aplicações e limitações dos protocolos de comunicação. É, segundo Hevner *et al.* (2004), um tipo de metodologia comum em estudos que buscam tanto revisar o estado da arte de um tema quanto aplicar esse conhecimento em um contexto real ou simulado.

O estudo combina uma revisão bibliográfica, 1ª etapa, que corresponde parte teórica, que possibilitou levantar e analisar as principais características dos protocolos de comunicação mais utilizados na automação residencial, incluindo *Zigbee*, *Z-Wave*, *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *Thread*, *Insteon* e *KNX*. A pesquisa foi realizada por meio de bases de dados científicas Google acadêmico, Scopus e sites de fabricantes (utilizando como descritores os nomes dos protocolos), artigos especializados, publicações de associações de automação, como a Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial (Aureside) e relatórios técnicos de fabricantes.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

A 2ª etapa foi a construção de um projeto prático, uma pesquisa aplicada com componente experimental, pois, ao utilizar a inteligência artificial Chatgpt 4.0 (IA) para auxiliar na construção da planta baixa da casa automatizada, o estudo incorporou um elemento de experimentação e validação prática de conceitos discutidos na revisão, utilizando uma estratégia de estudo de caso.

A construção do projeto prático, segue os princípios do *Design Science Research* (DSR), metodologia que busca solucionar problemas práticos através da criação e avaliação de artefatos, e segundo Hevner *et al.* (2004), combina a revisão do estado da arte com a aplicação prática de conhecimento para gerar soluções inovadoras e úteis, neste caso, o projeto de uma casa automatizada, com foco em cinco ambientes: sala de estar, cozinha, quarto, banheiro e sistema de segurança.

Conforme descrito por Hevner *et al.* (2004), o processo do DRS tem início na identificação do problema, neste caso, as dificuldades enfrentadas na escolha de protocolos de comunicação para automação residencial. Em seguida, define-se os objetivos da solução, que visam desenvolver um projeto eficiente e integrado. A etapa de *design* e desenvolvimento envolve a construção da planta baixa e a escolha dos dispositivos e protocolos a serem implementados. Na fase de demonstração, o artefato é aplicado em um contexto prático, simulando a automação dos ambientes definidos. A avaliação analisa a eficácia dos protocolos em termos de eficiência, segurança e interoperabilidade. Por fim, os resultados são comunicados, destacando como o projeto resolve o problema identificado e oferece soluções viáveis para o setor de automação residencial.

A seleção dos dispositivos foi baseada na revisão bibliográfica, levando em conta as características e as vantagens de cada protocolo. A planta baixa da casa automatizada foi elaborada com o apoio de ferramentas de IA. O projeto foi desenvolvido de acordo com as especificações fornecidas pelo pesquisador, que orientou os detalhes de cada ambiente a ser automatizado, incluindo as distribuições de dispositivos e a integração dos protocolos de comunicação. A IA foi utilizada como um recurso auxiliar, garantindo agilidade no processo de construção do *layout*, enquanto as decisões e instruções sobre a estrutura e os elementos do projeto ficaram sob responsabilidade do pesquisador.

PROJETO DE CASA AUTOMATIZADA: PROPOSTA PRÁTICA PARA USO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Criar um projeto de uma casa inteligente envolve a integração de diversos protocolos de comunicação que permitem a automação e controle de dispositivos domésticos.

O projeto tem como objetivo a automação de iluminação, climatização, segurança, entretenimento e eletrodomésticos; integração e interoperabilidade entre diferentes dispositivos e sistemas; controle centralizado e remoto via aplicativo para *smartphones* e *tablets*; escalabilidade e flexibilidade para futuras expansões e *upgrades*, utilizando os protocolos relacionados, com base nas vantagens e limitações de cada um, buscando definir a melhor opção para diferentes cenários de uso. O cenário a ser automatizado é uma residência com: 1) sala de estar, 2) cozinha, 3) quarto, 4) banheiro e 5) sistema de segurança. O Quadro 2 apresenta os dispositivos a serem utilizados.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

No quarto, a fechadura inteligente, operada por *Bluetooth*, oferece controle de acesso seguro, complementada pela iluminação gerida por *Zigbee* e o *smart speaker* conectado via *Wi-Fi*.

No banheiro, o espelho inteligente e a iluminação *Zigbee* aprimoram a experiência do usuário com informações e ajustes automáticos.

O sistema de segurança da casa integra câmeras, campainha inteligente e sensores de movimento, todos conectados via *Wi-Fi* e *Z-Wave*, garantindo monitoramento contínuo.

Na garagem, o abridor de porta inteligente e a estação de carregamento de veículo elétrico, ambos conectados via *Z-Wave* e *Wi-Fi*, asseguram praticidade e eficiência. Por fim, no *home office*, a luminária inteligente e a impressora, geridas por *Zigbee* e *Wi-Fi*, oferecem um ambiente de trabalho moderno e conectado.

Cada dispositivo foi estrategicamente posicionado para otimizar a conectividade e o desempenho dentro da rede doméstica, demonstrando como a combinação de diferentes protocolos pode criar um ambiente automatizado e inteligente. Ao combinar diferentes protocolos de comunicação, uma casa automatizada pode ser configurada para oferecer controle integrado, eficiência energética e segurança. A escolha do protocolo adequado depende das necessidades específicas de cada aplicação, como alcance, consumo de energia, e facilidade de integração com outros dispositivos. Utilizar uma combinação de *Wi-Fi*, *BLE*, *Z-Wave*, *Zigbee*, *Thread*, *KNX* e *Insteon* pode proporcionar uma solução robusta e escalável para a automação residencial.

A Figura 2 apresenta a planta baixa detalhada com a distribuição elétrica e a integração dos dispositivos de automação residencial, incluindo o diagrama unifilar, rotas de cabeamento, posicionamento dos dispositivos inteligentes e as proteções elétricas necessárias.

Figura 2 - Exemplo de planta baixa a distribuição elétrica e a integração dos dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do Chatgpt 4.0



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

A distribuição elétrica e a integração dos dispositivos, sob uma perspectiva técnica, destacam o sistema de distribuição elétrica, automação residencial e integração de sistemas, dimensionamento e cálculo de cargas, confiabilidade e manutenção, eficiência energética e sustentabilidade.

Há no sistema de destruição elétrica:

- Quadro de Distribuição: A planta apresenta um quadro de distribuição central para a segurança e a eficiência do sistema elétrico, responsável por distribuir a energia elétrica para os diferentes circuitos da casa, sendo dividido para atender às necessidades de cada ambiente. Cada circuito possui proteção individual (disjuntores), para evitar sobrecargas e possíveis curtos-circuitos.

- Dispositivos de Proteção e Seccionamento: O uso de disjuntores e dispositivos diferenciais residuais (DRs) são essenciais para a proteção dos usuários contra choques elétricos e para a proteção do sistema contra falhas, como sobrecorrente e curto-circuito. A proteção contra surtos elétricos é importante no ambiente altamente automatizado, onde a presença de dispositivos eletrônicos sensíveis é comum.

Há na automação Residencial e Integração de Sistemas:

- Sistema de Automação Elétrica: A integração de um sistema de automação para controle de iluminação, temperatura, e dispositivos de segurança são controlados por um controlador central (*hub*), que pode se comunicar via protocolos como *Zigbee*, *Z-Wave*, ou *Wi-Fi*. A disposição dos dispositivos de automação demonstra uma rede robusta de comunicação entre os diferentes dispositivos. A escolha do cabeamento estruturado, juntamente com a conexão via RF, permite maior flexibilidade e expansibilidade do sistema.

Iluminação e Carga Controlada: A iluminação automatizada, com controle via sensores e programação, permite a gestão eficiente do consumo energético. Luminárias e tomadas são distribuídas de forma a equilibrar a carga elétrica e minimizar perdas. A utilização de LEDs, que são energeticamente eficientes e oferecem maior durabilidade, é provável, considerando o contexto de automação residencial.

Há no dimensionamento e Cálculo de Cargas:

- Distribuição de Cargas: O dimensionamento das cargas elétricas para cada ambiente considera as necessidades específicas de cada cômodo (por exemplo, áreas como a cozinha e a garagem, que possuem equipamentos de maior potência, requerem de distribuição adequada para suportar essa demanda. O sistema de distribuição conta com circuitos dedicados para equipamentos de alta potência, como o ar-condicionado, a geladeira, e a máquina de lavar, evitando sobrecargas nos circuitos.

- Reservas Técnicas e Expansibilidade: A planta tem reservas técnicas tanto em espaço no quadro de distribuição quanto em cabeamento, permitindo a futura adição de novos dispositivos sem necessidade de grandes reformas na infraestrutura elétrica.

Há quanto a Confiabilidade e Manutenção:

- Segurança Operacional: A disposição dos quadros e dispositivos de proteção em locais acessíveis facilita a manutenção e a intervenção em caso de falhas. A planta foi projetada para minimizar interrupções em áreas críticas da casa. A redundância em sistemas críticos, como a



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

iluminação de emergência ou a proteção contra surtos, é um ponto positivo, garantindo confiabilidade ao sistema.

- Monitoramento e Diagnóstico: A presença de sistemas de monitoramento contínuo de consumo e qualidade de energia é um indicativo de uma abordagem moderna e preventiva para a manutenção elétrica. Esses sistemas podem detectar falhas e anomalias no sistema, permitindo intervenções rápidas.

Quanto a eficiência energética e sustentabilidade:

- Otimização do Consumo: A integração de sensores de presença, controle de carga e programação inteligente contribui para a otimização do consumo energético. Isso é particularmente relevante em uma residência automatizada, onde o controle sobre o uso de energia é crucial.

- Sistemas de Energia Renovável: Embora não esteja explicitamente indicado, a infraestrutura elétrica está preparada para a integração de fontes de energia renovável, como painéis solares, o que aumentaria a sustentabilidade da residência.

CONSIDERAÇÕES

O objetivo do trabalho foi comparar os diferentes protocolos de comunicação utilizados na automação residencial, compreendendo suas características, aplicações, segurança, vantagens e desvantagens.

Cada protocolo possui características específicas que os tornam adequados para diferentes aplicações, seja em termos de consumo de energia, alcance, segurança ou interoperabilidade. A comparação desses protocolos permitiu compreender suas vantagens, bem como suas limitações e os cenários mais apropriados para cada situação, oferecendo uma visão abrangente sobre as tecnologias que suportam a conectividade e a automação em ambientes inteligentes.

Os protocolos de comunicação foram simulados em uma residência e observou-se que os protocolos *Zigbee* e *Z-Wave* são ideais para a maioria dos dispositivos devido à sua eficiência energética e confiabilidade em redes *mesh*.

O protocolo *Wi-Fi* mostrou-se eficaz para dispositivos que exigem alta largura de banda, como câmeras de segurança e eletrodomésticos. O protocolo *Bluetooth* tem sua maior utilidade para automação de curto alcance, como controle de fechaduras e dispositivos próximos. O protocolo *Thread* está ganhando força e é promissor para futuras expansões, especialmente em redes que precisam de IP nativo. Por fim, os protocolos *Insteon* e *KNX* são recomendados para projetos onde a confiabilidade e robustez são críticas, especialmente em ambientes comerciais ou em casas de alto padrão.

Portanto, a melhor abordagem é uma solução híbrida que combina *Zigbee* e *Z-Wave* para automação e segurança, *Wi-Fi* para dispositivos de alto consumo de dados, e *Thread* para futuros *upgrades* e dispositivos compatíveis. *KNX* e *Insteon* são mais adequados para projetos específicos onde a robustez e escalabilidade são prioritárias.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

REFERÊNCIAS

- AL-SHAREEDA, M. A.; SAARE, M. A.; MANICKAM, S.; KARUPPAYAH, S. Bluetooth low energy for internet of things: review, challenges, and open issues. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, Indonesian, v. 31, n. 2, p. 1182-1189, 2023. Available: <https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/view/31257> Access: 9 nov. 2024.
- ANDRADE, J. G. **Estudo e projecto de transformação de uma casa tradicional numa casa inteligente, baseada em IoT**. 2024. 133f. Dissertação (Mestrado) - Universidade da Madeira, Portugal, 2024. Disponível em: <https://digituma.uma.pt/bitstream/10400.13/5799/1/JohevanDeGoisAndrade-V8.ppt> Acesso em: 9 nov. 2024.
- APAVATJRUT, A.; KAMDEE, S. On optimizing wifi rssi and channel assignment using genetic algorithm for wifi tuning. **ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications**, London, v. 19, n.3, p. 322-330, 2021.
- ARIAS, J. **KNX System Specifications**. [S. l.]: KNX, 2022. Available: <https://support.knx.org/hc/en-us/articles/36000040999-KNX-Specifications> Access: 10 Aug. 2024
- AUGUST.COM. **Products**. [S. l.]: August.Com, 2024. Disponível em: <https://august.com/> Acesso em: 11 ago. 2024.
- BASTOS, V. **Como funciona o Zigbee, Bluetooth, BLE e BT Mesh**. [S. l.]: Quero Automação, 16 out. 2020. Disponível em: <https://queroautomacao.com.br/como-funciona-o-zigbee-bluetooth-ble-e-bt-mesh/> Acesso em: 18 maio 2024.
- BOUCIF, N.; GOLCHERT, F.; SIEMER, A.; FELKE, P.; GOSEWEHR, F. Crushing the Wave - new Z-Wave vulnerabilities exposed. **arXiv:2001.08497v1 [cs.CR]**, China, p. 1-6, 23 jan 2020. Available: <https://arxiv.org/pdf/2001.08497> 12 Aug. 2024.
- COELHO, D. F. B.; CRUZ, V. H. N. **Edifícios inteligentes uma visão das tecnologias aplicadas**. São Paulo: Blucher, 2017.
- DAWOUD, S.; DAWOUD, P. **Serial Communication Protocols and Standards: Rs232/485, Uart/Usart, Spi, Usb, Insteon, Wi-Fi and Wimax**. Denmark: River Publishers, 2020.
- DIAS, A. H.; DIAS FILHO, A. H.; DIAS, C. S.; FOLTRAN JUNIOR, D, C. Sistema de iluminação inteligente - aplicação dos conceitos de smart spaces e internet das coisas. *In*: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, Brasília, 2021. **Anais** [...] Brasília: CONFEA, 2021. Disponível em: <https://www.confea.org.br/eventos/contecc/contecc-2021/eletricista> Acesso em: 11 ago. 2024.
- DODDA, R.; GADDAM, V.; PRASAD, J. R.; SUBBA RAO, B. V. The Evolution of Internet of Things (IoT) and its Impact on Existing Technology. **International Journal of Science Technology & Engineering**, India, v. 2, n. 7, p. 96-103, Jan. 2016. Available: <https://www.ijste.org/articles/IJSTEV2I7091.pdf> Access: 12 Aug. 2024.
- DU, J-Z ; LIU, J-W ;ZHAN-TING, Y.; TAO FENG, Y. Formal analysis and improvement of z-wave protocol. **Journal of Computer Science and Technology**, New Jersey, v. 34, n. 4, p. 25-39, aug. 2023. Available: https://www.researchgate.net/publication/373702220_Formal_Analysis_and_Improvement_of_Z-Wave_Protocol 12 Aug. 2024.
- FAIRBANKS, K. **Insteon**: Updates from Ken. [S. l.: s. n.], 2024. Available: https://www.insteon.com/blog/2024/7/10kenupdates?utm_campaign=blog&utm_medium=homebanner Access: 10 Aug. 2024



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

FCAMARA BLOG. Entenda o papel da alta disponibilidade e performance dos sistemas. **FCamara Blog**, 2017. Disponível em: <https://fcamara.com/blog/entenda-o-papel-da-alta-disponibilidade-e-performance-dos-sistemas/> Acesso em: 18 maio 2024.

FEU, M. J. C.; PEREIRA, A. L.; SIMÕES, O. G. Smart grid: protocolos e aplicações. **Revista Esfera Acadêmica Tecnologia**, Vitória, ES, v. 9, n. 2, p. 1-14, 2024. Disponível em: https://multivix.edu.br/wpcontent/uploads/2024/10/REVISTA_ESFERA_TECNOLOGIA_V09_N02_AR_TIGO3.pdf Acesso em: 9 nov. 2024.

GIRA. **Gira KNX system**. Available: <https://partner.gira.com/en/systeme/knx-system/details.html#cms-anchor-details> Access: 10 Aug. 2024.

GISLASON, D. **Zigbee wireless networking**. Amesterdã: Newnes, 2008.

GRAVETO, V.; CRUZ, T. J.; SIMÕES, P. Using KNX-Based building automation and control systems for data exfiltration. **IEEE Internet of Things Journal**, London, v. 10, n. 15, p. 13727-13741, 1 aug. 2023. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10086593> Access: 10 Aug. 2024.

HAQUE, K. F.; ABDELGAWAD, A.; YELAMARTHI, K. Comprehensive performance analysis of zigbee communication: an experimental approach with xbee s2c module. **Sensors**, Basel, Switzerland, v. 22, n. 9, p. 3245, 2022. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/22/9/3245/review_report Access: 12 Aug. 2024.

HEVNER, A. R.; MARCH, S.T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, EUA, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004. Available: https://wise.vub.ac.be/sites/default/files/thesis_info/design_science.pdf Access: 27 Sept 2024.

HWANG, D.; MISRA, A.; HUO, Z.; SIDDHARTHA, N.; GARG, S.; QIU, D.; SIM, K. C.; STROHMAN, T.; BEAUFAYS, F.; HE, E. Large-Scale ASR domain adaptation using self- and semi-supervised learning. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING (ICASSP), Singapore, 2022. **Proceeding [...]** Singapore: IEEE, 2022. p. 6627-6631. Available: doi: 10.1109/ICASSP43922.2022.9746719 Access: 12 Aug. 2024.

KOSTEN-HAUS TECNOLOGIA RESIDENCIAL. Automação residencial: de olho no futuro, benfeitoria valoriza o imóvel. **Kosten-Haus Tecnologia Residencial**, 17 jul. 2021. Disponível em: [Automação residencial: de olho no futuro, benfeitoria valoriza o imóvel \(kostenhaus.com.br\)](https://www.kostenhaus.com.br/automação-residencial-de-olho-no-futuro-benfeitoria-valoriza-o-imovel) Acesso em: 2 jun. 2024

KOSTEN-HAUS TECNOLOGIA RESIDENCIAL. Automação Wi-Fi: como funciona, vantagens e desvantagens. **Kosten-Haus Tecnologia Residencial**, 2022. Disponível em: <https://www.kostenhaus.com.br/artigo/automacao-wifi> Acesso em: 18 maio 2024.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Computer networking**: A top-down approach. 7th. London: Pearson, 2017.

LATINI, I. A. **Implementação, aceitação e internacionalização da servitização na Romi S.A.:** um estudo de caso numa empresa líder de mercado". 2023. 61f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/30092> Acesso em: 9 nov. 2024.

LUETH, K. L. **State of the IoT 2024**: number of iot devices now at 7b - market accelerating. {S. I.}: IOT analytics, 2024. Available: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2024-number-of-iot-devices-now-7b/> Acesso em: 7 maio. 2024.

MA, Y.; FU, Y.; LIU, L.; DU, Z.; MA, J.; SUN, Y. A smart contract approach to access control based on distributed identities and roles. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TRANSPORTATION, BIG DATA & SMART CITY (ICITBS). Hengyang, China, 2022. **Proceeding [...]**



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

Hengyang: IEEE, 2022. p. 677-680. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10211022>
Access: 12 Aug. 2024.

MARKSTEINER, S.; JIMENEZ, V. J. E; VALIANT, H.; ZEINER, H. An overview of wireless IoT protocol security in the smart home domain. **Internet of Things Business Models, Users, and Networks**, Copenhagen, Denmark, p. 1-8, 2017. Available: doi: 10.1109/CTTE.2017.8260940 Access: 12 ago. 2024.

MOREIRA, E. **Conheça os pilares da Segurança da Informação**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://blog.introduce.com.br/pilares-da-seguranca-da-informacao/> Acesso em: 15 maio. 2024

MORROW, R. **Bluetooth operation and use**. New York: McGraw-Hill, 2020.

NEST THERMOSTAT. **Save energy, brilliantly**. [S. l.]: Nest Thermostat, 2024. Disponível em: https://store.google.com/us/product/nest_learning_thermostat_4th_gen?hl=en-US Acesso em: 11 ago. 2024.

NETO, A. A. **Automação predial, residencial e segurança eletrônica**. São Paulo: Editora Senai-SP, 2017.

NEURON TEAM. **KNX Protocol**: The basics and its possibilities with IoT. **NEURON TEAM**, 10 nov. 2023. Available: <https://www.emqx.com/en/blog/knx-protocol> Access: 10 Aug. 2024.

OPEN TREAD. **What is Thread?** [S. l.]: Open Tread, 2023. Available: <https://openthread.io/guides/thread-primer> Access: 18 Mayo 2024.

PHIPPS, B. **How to use bluetooth technology**. [S. l.]: Wikihow, 2024. Available: <https://www.wikihow.com/Use-Bluetooth-Technology#relatedwikihows> Access: 12 Aug. 2024.

PRAVEEN, A. R. M.; HASIB, M. Open-Source Security Testing Tools for IoT Protocols - MQTT and Zigbee. **ADVANCES IN SCIENCE AND ENGINEERING TECHNOLOGY INTERNATIONAL CONFERENCES (ASET)**, Dubai, United Arab Emirates, 2023. **Proceeding** [...]. Dubai: IEEE, 2023. p. 01-06. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10180709> Access: 12 Aug. 2024.

PRUDENTE, F. **Automação predial e residencial**: Uma introdução. São Paulo: LTC, 2017.

RAPPAPORT, T. S. **Wireless communications**: Principles and practice. 2th. Hoboken, New York University: [s. n.], 2024.

RYE, D. X10 Technology. **HomeToys EMagazine**, [s. l.]v. 4, n. 5, p.1, 1999. Available: <https://hometoys.com/x10-technology/?url=FhtinewsFoct99FarticlesFryeFrye.htm> Access: 12 ago. 2024.

SAN RAMON, C. **Introducing Thread**: A new wireless networking protocol for the home. hread group, [S. l.: s. n.], 2024. Available: <https://www.threadgroup.org/news-events/press-releases/ID/20/Introducing-Thread-A-New-Wireless-Networking-Protocol-for-the-Home> Access: 11 may. 2024.

SAPUNDZHI, F. A Survey of KNX Implementation in Building Automation. **TEM Journal**, Serbia, v. 9, n. 1, p. 144-148, Feb. 2020. Available: https://www.temjournal.com/content/91/TEMJournalFebruary2020_144_148.pdf Access: 10 Aug. 2024.

SHARMA, V. **A Deep Dive into openThread**: Optimizing IoT connectivity. [S. l.: s. n.], 2024. Available: <https://vbsmandi.medium.com/a-deep-dive-into-openthread-optimizing-iot-connectivity-f145a681008a> Access: 12 Aug. 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO COMPARATIVO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Anderson Quintana, Fabiana Florian, Ronaldo Gomes Figueira

SILICON LABS. **Understanding thread**: A developer's guide. [S. l.: s. n.], 2020. Available : <https://www.silabs.com/documents/public/user-guides/ug103-11-fundamentals-thread.pdf> Access : 12 Aug. 2024.

SMARTER HOME. **Advantages of Z-Wave**. [S. l.: s. n.], 2024. Available: <https://smarterhome.sk/en/informacie/advantages-of-z-wave-10> Access: 18 maio. 2024.

SPEAK DOTDOT. **Bptdot S tory**: Speak dotdot. [S. l.: s. n.], 2024. Available: <https://www.speakdotdot.com/dotdot-over-thread> Access: 11 may 2024.

STEVAN JUNIOR, S. L.; FARINELLI, F. A. **Domótica**: Automação residencial e casas inteligentes com Arduino e ESP8266. São Paulo: Editora Érica, 2018.

THREAD GROUP. **Thread 1.1.1 specification**. [S. l.: s. n.], 2018. Available: <https://www.silabs.com/documents/public/user-guides/ug103-11-fundamentals-thread.pdf> Access: 12 Aug. 2024.

WOOLLEY, M. **Bluetooth core specification 5.2**: Feature Overview. Kirkland, Washington: Bluetooth Special Interest Group, 2020. Available : <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/bluetooth-core-specification-version-5-2-feature-overview/> 12 Aug. 2024

YALE. **Fechaduras digitais**. [S. l.]: Yale, 2024. Disponível em: <https://loja.yale.com.br/fechadura-digital> Acesso em: 11 ago. 2024.