



## **Projeto Final - Etapa 2**

**Sistema inteligente de detecção de presença humana  
baseado em rede mesh**

Andre de Oliveira Melo  
Pedro Sampaio

18 de julho de 2025

# 1 Identificação do Problema

## 1.1 Contextualização

O controle e a otimização do consumo de energia em ambientes residenciais e comerciais representam, atualmente, uma área com significativo potencial de ganhos financeiros e ambientais. Historicamente, o uso de sistemas manuais para o acionamento de dispositivos elétricos e de iluminação tem levado a um desperdício energético considerável. Isso ocorre porque, muitas vezes, aparelhos e luzes permanecem ligados por longos períodos, mesmo quando os espaços estão desocupados.

Em um cenário em que a eficiência energética é uma prioridade, superar essas ineficiências torna-se crucial. É nesse contexto que os detectores de presença humana, baseados em tecnologias distribuídas, surgem como uma solução robusta e altamente eficiente para a economia de energia.

Ao utilizar uma rede distribuída, tendo a topologia mesh como referência, cada detector atua não apenas como um ponto de detecção, mas também como um repetidor de sinal, ampliando a área de sensoriamento. Isso permite uma cobertura abrangente e estável em grandes áreas ou em ambientes com obstáculos, garantindo que a detecção de presença seja precisa. Com essa capacidade, o sistema pode desligar ou ajustar automaticamente o funcionamento de luzes, aparelhos de ar-condicionado, ventilação e outros dispositivos quando não há ninguém presente, e ativá-los instantaneamente ao detectar presença.

## 1.2 Problema Principal

O controle ineficiente de iluminação e dispositivos elétricos em ambientes residenciais e comerciais representa um problema significativo. Atualmente, a dependência da ação manual do usuário, por meio de interruptores tradicionais, leva a um consumo excessivo de energia, como luzes acesas em ambientes desocupados. Além disso, tecnologias existentes, como os sensores infravermelho passivo (PIR), demonstram limitações de precisão e cobertura em espaços amplos, resultando em detecções falhas ou desnecessárias que comprometem a economia de energia esperada. Esses fatores evidenciam a necessidade urgente de soluções mais avançadas para a otimização do uso de recursos.

O alto consumo de energia derivado dessa ineficiência não se restringe apenas ao impacto financeiro nas contas de luz. Ele se traduz diretamente em consequências ambientais significativas, contribuindo para o aumento da demanda por geração de energia, que muitas vezes ainda depende de fontes não renováveis e poluentes. Esse cenário agrava a emissão de gases de efeito estufa, o esgotamento de recursos naturais e a sobrecarga de infraestruturas, evidenciando a urgência de soluções que promovam um uso mais consciente e sustentável da energia.

## 1.3 Limitações dos Sistemas Atuais

Os sistemas de detecção de presença tradicionais, como sensores PIR (Passive Infrared), apresentam limitações significativas:

- Sensibilidade limitada a movimentos, não detectando pessoas estáticas
- Maior consumo de espaço físico
- Alcance de detecção restrito

- Dificuldade de integração com múltiplos dispositivos
- Ausência de comunicação entre sensores em ambientes amplos
- Não detecção através de barreiras físicas

## 2 Proposta de Solução

### 2.1 Descrição Geral

O projeto propõe o desenvolvimento de um sistema inteligente de detecção humana que emprega a tecnologia mmWave (ondas milimétricas), utilizando o sensor LD2420. Este sistema visa oferecer a capacidade de detectar a presença humana com alta precisão, permitindo o controle automatizado de iluminação e outros dispositivos elétricos. Adicionalmente, o sistema permitirá a operação coordenada entre múltiplos sensores em um mesmo ambiente, visando uma cobertura eficiente e robusta.

### 2.2 Tecnologia mmWave

A tecnologia mmWave usa ondas eletromagnéticas nas faixas de 24GHz ou 60GHz para identificar a presença e o movimento. Essa abordagem oferece vantagens notáveis quando comparada aos sensores PIR convencionais. Por exemplo, ela consegue detectar através de certos obstáculos, possui um tamanho físico reduzido e, crucialmente, é capaz de identificar pessoas que estão estáticas, algo que os sensores PIR muitas vezes não conseguem fazer.

### 2.3 Funcionalidades Principais

- Detecção automática de presença humana mesmo estático
- Controle baseado em presença
- Controle de dispositivos auxiliares (ar condicionado, tomadas inteligentes)
- Comunicação entre múltiplos sensores
- Manutenção coordenada de zonas de iluminação

## 3 Requisitos do Sistema

### 3.1 Requisitos Funcionais

1. **RF02 - Controle de Iluminação:** O sistema deve ligar e desligar automaticamente a iluminação e dispositivos auxiliares com base na detecção de presença.
2. **RF03 - Comunicação Múltipla:** O sistema deve permitir comunicação wireless entre sensores para operação coordenada.
3. **RF04 - Coordenação de Zonas:** O sistema deve manter iluminação e dispositivos ativos em zonas cobertas por sensores coordenados.

4. **RF05 – Configuração de Tempo:** O sistema deve permitir configuração do tempo de desligamento automático dos dispositivos.
5. **RF06 – Interface de Usuário:** O sistema deve fornecer interface visual local via display e-Paper e interface remota via aplicação mobile.
6. **RF07 – Controle Manual:** O sistema deve permitir acionamento manual de iluminação e dispositivos por meio de botões físicos, sem comprometer a lógica automática.
7. **RF08 – Monitoramento de Ambiente:** O sistema deve ser capaz de medir temperatura e umidade do ambiente por meio de sensores apropriados.
8. **RF09 – Mensuração de Luminosidade:** O sistema deve medir o nível de luminosidade do ambiente com base em sensores de luz.
9. **RF10 – Registro de Dados:** O sistema deve registrar, em tempo real, os dados de presença, temperatura, umidade e luminosidade em um cartão SD.
10. **RF11 – Visualização Remota:** O sistema deve disponibilizar os dados registrados para visualização em uma interface mobile.
11. **RF12 – Integração com Aplicativos IoT:** O sistema deve ser compatível com plataformas de IoT (como Blynk, Home Assistant ou similares) para visualização e controle remoto dos sensores e atuadores.

### 3.2 Requisitos Não Funcionais

1. **RNF01 – Eficiência Energética:** O sistema deve atingir eficiência energética melhor do que a de um sistema tradicional utilizando sensor PIR
2. **RNF02 – Tempo de Resposta:** O sistema deve responder à detecção de presença em menos de 2 segundos
3. **RNF03 – Temperatura de Operação:** O sistema deve operar em temperaturas normais
4. **RNF04 – Conectividade:** O sistema deve ser controlável via aplicação mobile
5. **RNF05 – Tamanho:** O sistema deve poder ser contido (sob hardware customizável) em um interruptor convencional

## 4 Lista de Materiais

### 4.1 Componentes Principais

A Tabela 1 apresenta os principais componentes utilizados na implementação do sistema proposto. Os elementos listados foram selecionados com base em suas funcionalidades específicas, como detecção de presença, medição ambiental e interface com o usuário. Além disso, os componentes de comunicação e armazenamento, como o módulo SD e os periféricos I2C/SPI, garantem a integração eficiente e a flexibilidade necessária para o funcionamento do sistema distribuído baseado em rede mesh.

Componente	Especificação	Qtd
Raspberry Pi Pico W	Microcontrolador RP2040 (BitDogLab)	2
Sensor LD2420	Sensor mmWave 24GHz - UART	2
Display epaper	Resolução 122x250 - SPI	2
AHT10	Sensor de temperatura e humidade - i2c	2
Módulo cartão SD	Periférico de SDCARD - SPI	2
BHI750	Sensor de luminosidade - i2c	2
Extensor i2c	Periférico de extensão i2c	2

Tabela 1: Lista de componentes principais.

## 4.2 Componentes Auxiliares

A Tabela 2 apresenta os componentes auxiliares utilizados na montagem e finalização do protótipo, essenciais para garantir a fixação, organização e funcionalidade física do sistema.

Componente	Descrição	Quantidade
Cartão SD	Cartão SD para log	2
Jumpers	Fios de conexão	20
Caixa do detector	Case para o projeto	2
Parafusos	Parafusos de fixação M3	8
Fita Dupla Face	Fixação de componentes	1

Tabela 2: Componentes auxiliares.

## 5 Justificativa Técnica

### 5.1 Vantagens da Tecnologia mmWave

A escolha da tecnologia mmWave para este projeto se baseia em várias vantagens técnicas significativas em relação aos sensores PIR tradicionais:

**Detecção Aprimorada:** O sensor LD2420 utiliza ondas milimétricas de 24GHz que permitem detecção através de materiais não metálicos, incluindo vidro, plástico e tecido. Esta característica elimina a necessidade de linha de visão direta, comum em sensores PIR. Além disso, eles também são capazes de detectar pessoas que não estão em movimento.

**Precisão de Movimento:** A tecnologia mmWave pode detectar movimentos sutis, incluindo respiração e movimentos mínimos, permitindo identificação de presença mesmo quando a pessoa está relativamente estática.

**Eficiência Espacial:** O tamanho reduzido dos componentes mmWave permite integração em espaços mais compactos, facilitando instalação em diferentes tipos de ambientes.

### 5.2 Vantagens da solução proposta

A ideia é oferecer uma solução integrada, versátil e de fácil uso.

**Eficiência Espacial:** Com o tamanho dos componentes utilizados, é possível ter os componentes todos atrás de um interruptor convencional adaptado.

**Facilidade de uso e conforto:** O objetivo é que seja facilmente utilizado por qualquer pessoa. A inclusão de um software de fácil uso, integração entre mais de um sensor e possibilidade de detectar usuários imóveis promovem uma melhor experiência ao usuário. Além disso, a possibilidade de integrar outros dispositivos além de lâmpadas acrescenta conveniência.

**Eficiência Energética:** A possibilidade de controlar não só iluminação com base em presença, como também outros dispositivos IoT promove uma eficiência energética ainda maior.

## Referências

- [1] TEXAS INSTRUMENTS. *mmWave Radar Academy*. 2024. Disponível em: [https://dev.ti.com/tirex/explore/node?node=A\\_\\_AXNV8Pc8F7j2TwsB7QnTDw\\_\\_RADAR-ACADEMY\\_\\_GwxShWe\\_\\_LATEST](https://dev.ti.com/tirex/explore/node?node=A__AXNV8Pc8F7j2TwsB7QnTDw__RADAR-ACADEMY__GwxShWe__LATEST). Acesso em: 16 jul. 2025.