

IoT para Monitoramento em Tempo Real da Ocupação em Locais Essenciais para Facilitar a Tomada de Decisões

Letícia de Melo
 Curso de Engenharia Elétrica
 Universidade Federal de São Carlos,
 Brasil
 leticiamelo@estudante.ufscar.br

Celso Ap.de França
 Departamento de Engenharia Elétrica
 Universidade Federal de São Carlos,
 Brasil
 celsofr@ufscar.br

Resumo – A Internet das Coisas (em inglês, Internet of Things (IoT)) pode desempenhar um papel essencial ao ajudar a enfrentar os desafios de lotação e alta demanda em locais de serviços essenciais (agências bancárias, espaços de logística postal, lotéricas, repartições públicas, etc.). Através da interconexão de dispositivos e sistemas inteligentes, a IoT viabiliza a automação de processos e a coleta de dados imediatos, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos e a tomada de decisões baseadas em informações precisas. Essa abordagem pode melhorar a experiência dos clientes ao reduzir o tempo de espera e diminuir aglomerações, beneficiando também a qualidade das atividades oferecidas. O objetivo deste artigo consiste em um sistema eficiente de contagem de pessoas, capaz de monitorar a ocupação de locais em tempo real, abrangendo tanto a entrada quanto a saída de forma bidirecional. A metodologia do projeto utiliza sensores infravermelhos, o microcontrolador ESP32, um banco de dados em nuvem e uma aplicação web. Os resultados da implementação foram positivos, com agilidade na contagem, atingindo aproximadamente 82% de acerto, classificação adequada da lotação e interface visual intuitiva, permitindo o monitoramento instantâneo e tomada de decisões sólidas para uma melhor experiência no ambiente. O sistema IoT desenvolvido demonstra grande potencial para aplicação prática em diversos setores da sociedade.

Palavras-Chave – IoT; monitoramento; ocupação; serviços essenciais.

1. INTRODUÇÃO

Locais de serviços essenciais lidam comumente com desafios significativos devido à lotação e alta demanda. Cartórios, agências de correios e órgãos municipais, por exemplo, geralmente têm seu atendimento caracterizado por longas filas [1], espaços apertados e profissionais sobrecarregados. Essa situação de lotação ocasiona diversas consequências negativas, como baixa qualidade dos serviços oferecidos [1], porém com o atual desenvolvimento tecnológico, esses problemas podem ser amenizados.

A Internet das Coisas (IoT) desempenha um papel essencial ao facilitar atividades diárias, sejam elas para soluções pessoais ou profissionais. Com a interconexão de dispositivos inteligentes, a IoT pode automatizar processos, coletar dados atuais, embasar decisões precisas, entre outras atividades. Dessa forma é possível otimizar as tarefas, evitando perdas de tempo desnecessárias e proporcionando maior comodidade [2].

Ferramentas de contagem automática de pessoas representam uma área de pesquisa e aplicação de extrema relevância em diversos setores, onde a análise e monitoramento da atividade humana são necessários [3]. Além disso, a integração dessa tecnologia com a IoT pode complementar e potencializar essas operações. Isso justifica a relevância de desenvolver pesquisas acerca dessa combinação, inclusive no que tange soluções em espaços de assistências essenciais, de forma a contribuir em questões como, a redução do tempo de espera, a minimização do risco de aglomeração e a melhoria da experiência do usuário. Ademais, a pesquisa nesse campo impulsiona o avanço do conhecimento na área de IoT e suas aplicações em atendimentos básicos e outros setores, contribuindo para a otimização das atividades da sociedade.

O objetivo primordial desta pesquisa consiste em desenvolver um sistema eficiente que viabilize o monitoramento instantâneo da ocupação de locais de atividades essenciais. Tal monitoramento possibilita as melhorias citadas anteriormente ao oferecer ao usuário uma ferramenta capaz de expor o status de ocupação de ambientes monitorados e apresentar se a condição atual de visita ao local é favorável naquele momento. Para tanto, o enfoque central desta pesquisa reside na aplicação de tecnologias IoT em conjunto com um método de contagem bidirecional automática de cidadãos, capaz de coletar e processar dados de ocupação de forma imediata, e disponibilizá-los de forma acessível aos utilizadores por meio de uma aplicação web. Adicionalmente, esse projeto de pesquisa visa contribuir para o avanço do conhecimento científico e tecnológico no campo da Internet das Coisas e suas aplicações no contexto dos serviços essenciais, almejando impactos positivos e duradouros no progresso e desenvolvimento da sociedade.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção apresenta uma revisão dos trabalhos relacionados às principais tecnologias pautadas neste artigo.

Em [4], foi desenvolvido um aparelho de monitoramento do número de pessoas nas salas de vacinação. Os dados podem ser acessados online por meio de smartphones ou computadores. O aparelho utiliza dois sensores infravermelhos: um na entrada, que incrementa a contagem quando um visitante passa, e outro na saída, que a decrementa quando os visitantes saem. O Módulo ESP32 Wi-Fi é usado para conectar o Arduino com um

roteador Wi-Fi, para que ele possa acessar um servidor de nuvem, possibilitando o acesso online por meio de qualquer smartphone ou computador. O teste de funcionamento foi um sucesso, com a confirmação de que o movimento na sala de vacinação era idêntico ao mostrado no aparelho. Isso demonstra a eficácia e utilidade da ferramenta para monitorar a ocupação dos ambientes de vacinação.

Em [5], os autores elaboraram um equipamento de monitoramento e contabilização atual de pessoas. Ele calcula a quantidade de entradas e saídas da sala e a exibe na página da web. Utiliza-se sensores infravermelhos, microcontrolador Raspberry Pi e o software FileZilla, que atua como uma interface entre os componentes de hardware e a página da web. O valor mostrado na página é acessível apenas com autorização. Conforme apontado pelos autores, esse equipamento é muito econômico e de fácil implementação, em comparação com sistemas RFID, biométricos e baseados em nuvem, podendo ser utilizado em diferentes aplicações.

Em [6], é apresentado um instrumento de contagem automática de baixo custo baseado no microcontrolador ESP32, sensores infravermelho, DS3231 RTC (real-time clock), Cartão MicroSD e LEDs. Utiliza-se uma fonte de bateria externa para alimentar o dispositivo, simplificando as instalações de campo. Experimentos foram realizados em dois cenários reais no campus principal da Universidade de Campinas - Brasil, permitindo uma avaliação precisa e eficaz. O dispositivo proposto é preciso, acessível e pode ser reproduzido em grande escala. Possui recursos de comunicação embutidos que possibilitam o controle imediato de pessoas em diferentes ambientes. Além disso, é capaz de lidar com vibrações ambientais e condições de iluminação variadas, além de ter baixo consumo de energia. A precisão alcançada dos testes foi superior a 90% em ambos os estudos de caso.

Em [7], os autores apresentaram um equipamento aprimorado baseado em IoT, projetado para auxiliar os professores no gerenciamento das aulas em sala de aula, levando em consideração as restrições impostas pela COVID-19. O equipamento contabiliza o número de pessoas na sala de aula e também monitora a distribuição delas pelo espaço. Ele utiliza um módulo NodeMCU, uma plataforma de desenvolvimento para IoT que utiliza como microcontrolador o ESP8266, integrado ao Arduino, conjuntos de sensores ultrassônicos e um servidor. O servidor do sistema é executado localmente em um Raspberry Pi, permitindo que o professor se conecte a ele por meio de um aplicativo da web no computador da sala de aula ou em um smartphone. Essa interface permite ao professor ajustar suas configurações. Foi desenvolvido um algoritmo simples para verificar a distância entre os assentos ocupados e avaliar o cumprimento das restrições estabelecidas. De acordo com os autores, o equipamento proposto possui uma desvantagem em relação aos sistemas baseados em câmeras devido à complexidade da implantação dos módulos IoT, principalmente por ter que conectar muitos detectores de distância à placa NodeMCU. No entanto, o uso de sensores ultrassônicos se mostra positivo à essa comparação, ao oferecer alta confiabilidade e robustez devido à simplicidade do algoritmo utilizado, além da possibilidade de implantação sem comprometer a privacidade dos indivíduos na sala de aula.

Em [8], é apresentado um aplicativo de quantificação térmica de pessoas para fachada de janela inteligente usando uma câmera visual térmica de baixo custo. O aplicativo usa uma

solução baseada em inteligência artificial, a partir de um algoritmo de processamento de imagem que realiza a detecção corporal com menos hardware e se mostra capaz de distinguir entre seres humanos e objetos, além de ser preciso. Tal aplicativo monitora remotamente em massa, as 20 câmeras térmicas, todas embutidas em diferentes janelas de vidro. As câmeras termográficas são capazes de detectar a temperatura corporal de todos que passam por qualquer um dos alcances das câmeras e também contam o número de cidadãos que passam por essas áreas. Os dados obtidos podem então ser utilizados de várias maneiras, por exemplo, no controle do ar condicionado e iluminação. O aplicativo foi testado e uma enumeração precisa foi registrada para todos que entraram no campo de visão da câmera termográfica.

Em [9], os autores desenvolveram um aparelho de quantificação de pessoas baseado em visão computacional utilizando microcontrolador Raspberry Pi e uma webcam. A câmera é posicionada perpendicularmente ao teto, próxima à porta, para registrar os movimentos dentro e fora da sala. As imagens são capturadas quadro a quadro e processadas por algoritmos de reconhecimento de objetos da biblioteca OpenCV. Os movimentos são rastreados e a direção do objeto é determinada para atualizar as contagens. O aparelho foi desenvolvido para auxiliar socorristas e gerentes de segurança em situações de evacuação. Ele oferece flexibilidade no acesso aos dados por meio de diferentes dispositivos, e permite o gerenciamento e armazenamento instantaneamente. No entanto, existem algumas limitações e desvantagens a serem consideradas. Uma desvantagem é a possibilidade de imprecisões nas medidas de largura dos indivíduos detectados, especialmente em certos ângulos e orientações da câmera. Isso pode levar à classificação incorreta de uma única pessoa com várias outras ou vice-versa. Apesar dessas limitações, a medição por câmeras oferece vantagens, como maior precisão em comparação com sensores ópticos.

Em [10], foi avaliado a eficácia da quantidade de cidadãos utilizando a técnica de medição de quadros Wi-Fi, a partir do armazenamento e encaminhamento dos dados do Wi-Fi para a nuvem. Comparou-se a precisão dessa técnica com a contagem manual em um evento com duração de 8 horas. Os resultados são promissores, com uma correlação de 0,89322 entre a manual e a por quadros Wi-Fi. Além disso, a quantificação de quadros Wi-Fi pode fornecer informações sobre a taxa de retenção da multidão. Embora não seja tão precisa para determinar o número exato de pessoas em uma multidão, ela pode identificar as tendências de entrada e saída. Os autores concluíram que essa ferramenta apresenta-se como um método eficaz e de baixo custo, em comparação com outras tecnologias, para monitorar as tendências de uma multidão.

Esses artigos acadêmicos abordam o desenvolvimento de métodos de totalização de pessoas, oferecendo perspectivas complementares e valiosas para a criação desses projetos. Eles apresentam diversas abordagens e tecnologias, como sensores infravermelhos, ultrassônicos, por vídeo, térmica e por Wi-Fi, fornecendo informações sobre os componentes necessários, configuração do hardware e integração com aplicativos web e servidores em nuvem. Além disso, discutem desafios e soluções relacionados à precisão, privacidade, consumo de energia e condições ambientais, fornecendo dados e melhores práticas para os desenvolvedores.

Ao revisar esses artigos, os pesquisadores e desenvolvedores

podem obter conhecimentos essenciais, adaptando-os às suas necessidades específicas e objetivos de aplicação. Em resumo, esses artigos são recursos acadêmicos fundamentais para o desenvolvimento de ferramentas de contabilização de indivíduos, fornecendo uma base sólida de conhecimento e experiência para a criação de soluções mais eficazes e adaptáveis.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O embasamento teórico deste estudo se fundamentou em três domínios principais: variedades de tecnologias de sistemas de contagem de pessoas, análise de dados em tempo real e avaliação da ocupação de espaços destinados a serviços essenciais.

3.1 Sistemas de Contagem de Pessoas

A contabilização de pessoas representa uma solução tecnológica promissora e eficiente para a análise do fluxo de indivíduos em diversos ambientes, desde estabelecimentos comerciais até espaços públicos [11]. Vários métodos foram propostos usando diversas tecnologias, como sensores infravermelhos [4], [5], [6], [12], de temperatura [8], [13], ultrassônico [7], [14], câmeras de vídeo [9], [15], tecnologias baseadas em Wi-Fi [10] e outros.

Essas soluções utilizam uma variedade de instrumentos de sensoriamento e técnicas de detecção para monitorar e registrar o número de indivíduos que entram e saem de um local específico. Com essas informações, os gerentes de espaços públicos e comerciais, por exemplo, podem tomar decisões estratégicas baseadas em dados concretos, otimizando a eficiência operacional, melhorando a segurança e a experiência do cliente. A utilização de diferentes tecnologias apresenta uma variedade de vantagens e desvantagens, representadas pela Tabela 1 abaixo, além de considerações de custo [10], [16].

Tabela 1- Comparação entre as diferentes tecnologias de contagem de pessoas.

Tecnologia	Funcionamento	Vantagem	Desvantagem
Sensor Infravermelho	O transmissor emite um feixe de luz vermelha que é refletida para o receptor quando há um objeto no caminho.	- Baixo custo; - Facilidade de instalação; - Fornece anonimato completo.	- Pode ser afetado por obstáculos físicos que obstruem o feixe de luz; - Limitado a ambientes internos e de curto alcance.
Contagem Térmica	Utiliza sensores que detectam fontes de calor.	Precisão na detecção de pessoas em grandes áreas.	Câmera de sensor térmico de longo alcance e grande angular são muito caras.
Sensor ultrassônico	Utiliza ondas sonoras de alta	- Baixo custo;	- Reflexões indesejadas;

	frequência para detectar objetos próximos.	- Facilidade de instalação; - Fornece anonimato completo.	- Sensibilidade ao ambiente.
Câmera de vídeo	Captura fotos ou vídeos das áreas desejadas e usa algoritmos de análise de imagem.	Permite a detecção e rastreamento preciso de pessoas.	- Requer algoritmos complexos de processamento de imagem; - Falta de privacidade e segurança de dados.
Wifi	Monitora dispositivos próximos através dos sinais Wi-Fi emitidos pelos mesmos.	- Alta cobertura e baixo custo para implantação; - Possibilita estimar a taxa de retenção de visitantes.	- Depende do wi-fi estar habilitado nos aparelhos. Os mais modernos possuem privacidade de wifi; - Não realiza uma contagem precisa.

Fonte: Autoria própria.

Em resumo, ao implementar um sistema de enumeração de indivíduos, a escolha entre as diferentes tecnologias depende do contexto específico de aplicação, dos requisitos de precisão, custo, facilidade de implementação e preocupações com privacidade.

3.2 Análise de Dados em Tempo Real

O tratamento de dados em tempo real é uma técnica fundamental que permite o processamento e a análise de dados no momento em que são gerados ou recebidos, sem demoras significativas. Essa capacidade viabiliza a tomada de decisões relevantes e oportunas com base nas informações disponíveis. Essa abordagem é essencial em campos como monitoramento, detecção ágil de eventos e aplicações críticas. Ela é amplamente utilizada em aplicações da IoT, nas quais os dispositivos geram continuamente grandes quantidades de dados em alta velocidade [17], [18].

A combinação desse tipo de tratamento com o armazenamento na nuvem traz vantagens adicionais, como escalabilidade e disponibilidade de acesso remoto aos dados [19]. Desse modo, oferece uma abordagem eficiente para lidar com grandes volumes de informações, permitindo tomadas de decisão instantâneas e avaliações posteriores mais detalhadas, além de otimizar processos, identificar padrões e tendências.

A análise de dados em tempo real pode ser ainda classificada em análise preditiva e prescritiva. A preditiva faz previsões com base em dados históricos e atuais, já a prescritiva vai além, fornecendo recomendações e ações específicas com base nessas previsões. Ambas as abordagens têm como objetivo auxiliar na

tomada de decisões mais informadas e eficientes [17].

3.2 Ocupação de Serviços Essenciais

O setor de serviços desempenha um papel de extrema relevância na economia brasileira, sendo reconhecido como um dos principais pilares para o desenvolvimento do país, além de ser um dos setores de maior impacto na geração de empregos [20].

Agências bancárias, espaços de logística postal, lotéricas, repartições públicas, como centros de documentação, cartórios, entre outros, são estabelecimentos que possuem alta demanda e, frequentemente, encontram-se lotados. Devido à natureza dos trabalhos prestados e à necessidade de atendimento aos cidadãos, esses locais enfrentam desafios constantes para gerenciar efetivamente suas capacidades e evitar longas filas de espera [20], [21], [22].

A formação de filas ocorre quando a demanda pela oferta excede a capacidade de atendimento disponível, o que não resulta apenas na perda de tempo e insatisfação dos usuários, mas também na sobrecarga dos colaboradores, além de gerar impactos negativos na qualidade do suporte prestado [23], [24]. Além disso, quando há baixa demanda, o sistema pode permanecer inativo por longos períodos de tempo, acarretando prejuízos [20], [25].

Assim, torna-se imprescindível buscar soluções eficazes de monitoramento e gerenciamento da ocupação desses estabelecimentos, visando amenizar os impactos negativos citados anteriormente.

4. METODOLOGIA

A metodologia adotada para este projeto consiste em dividir a construção em duas etapas principais: o desenvolvimento do hardware e do software. O hardware compreende a seleção, integração e conexão entre os componentes necessários. O software, por sua vez, é responsável pelo processamento dos dados coletados, e apresentação instantânea dos mesmos. A combinação ideal de hardware e software garante o desempenho e a praticidade da ferramenta de detecção e enumeração de pessoas, além da disponibilidade dos dados para que os utilizadores possam tomar decisões de acesso de forma eficiente.

Para avaliar a eficácia do sistema de contagem, foram conduzidos testes em um cenário simulado, cujo acesso de entrada e saída era o mesmo. Ao todo, foram realizados 60 eventos, incluindo testes individuais, em duplas e em trios, contemplando tanto a fase de ida quanto a de volta, a fim de representar mais opções que podem simular situações reais. Além disso também foi realizada a contagem manual a fim de identificar possíveis erros. A Figura 1, contém uma representação gráfica da simulação realizada.

Figura 1 - Representação gráfica da simulação.

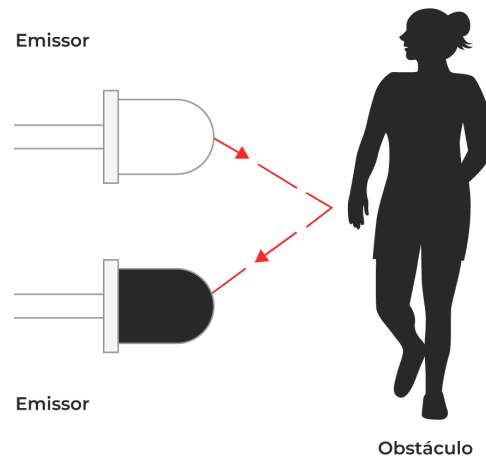


Fonte: Autoria própria.

4.1 Hardware

A escolha do sensor infravermelho (IR) para a enumeração de indivíduos foi fundamentada em razões econômicas, de praticidade de instalação e de preservação do anonimato. O modelo de sensor IR adotado é o E18-D80NK, que funciona a partir da geração de uma luz infravermelha que é captada pelo receptor quando há um obstáculo. A escolha se deu devido a esse modelo ser adaptável a aplicação real, sendo um aparelho de fácil instalação. Na Figura 2 é possível visualizar o seu funcionamento. Esse processo permite detectar obstáculos entre 3 e 80 cm de distância, podendo ser ajustada usando um potenciômetro no próprio sensor. A conexão é feita através de três pinos: VCC (5VDC) e GND para alimentação e um pino de sinal conectado ao microcontrolador. Para desenvolver o sistema proposto, foram utilizados dois produtos do mesmo modelo e fabricante, para contabilizar a quantidade de pessoas que entram e saem do ambiente controlado. Com isso, é possível obter a quantidade atualizada naquele local.

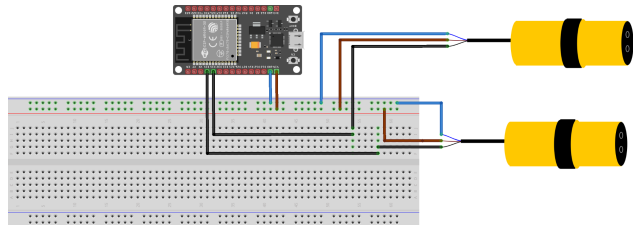
Figura 2 - Funcionamento do sensor infravermelho.



Fonte: Autoria própria.

Além dos sensores, foi utilizado o microcontrolador DOIT ESP32 WROOM-32 (DEVKIT V1). Esse dispositivo oferece conectividade Wifi e Bluetooth, alta performance e baixo consumo de energia. Esses recursos combinados com seu baixo custo e facilidade de programação, o torna uma opção atraente para projetos de IoT. No equipamento de contagem de pessoas, o microcontrolador tem um papel central, atuando como ponto de integração entre os sensores IR e o servidor. O microcontrolador recebe os dados obtidos, processa-os, e realiza o envio dessas informações ao servidor em nuvem por meio de uma conexão de rede Wi-Fi. O esquemático elétrico pode ser conferido na Figura 3.

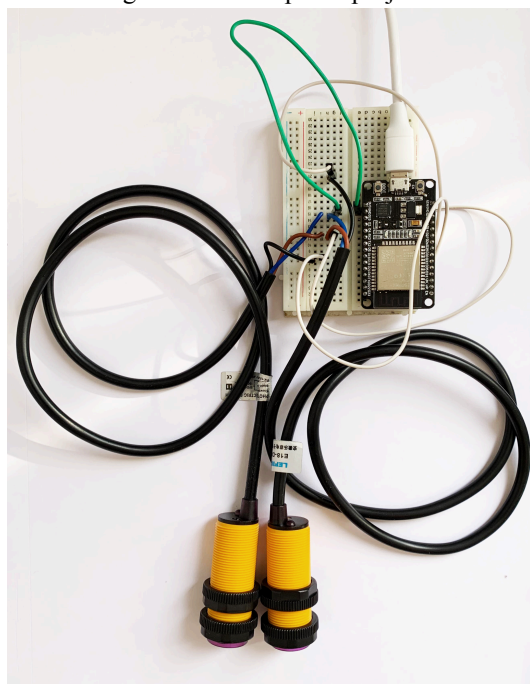
Figura 3 - Esquemático elétrico.



Fonte: Autoria própria.

A partir dos materiais escolhidos foi desenvolvido um protótipo do projeto, representado pela Figura 4 abaixo.

Figura 4 - Protótipo do projeto.



Fonte: Autoria própria.

4.2 Software

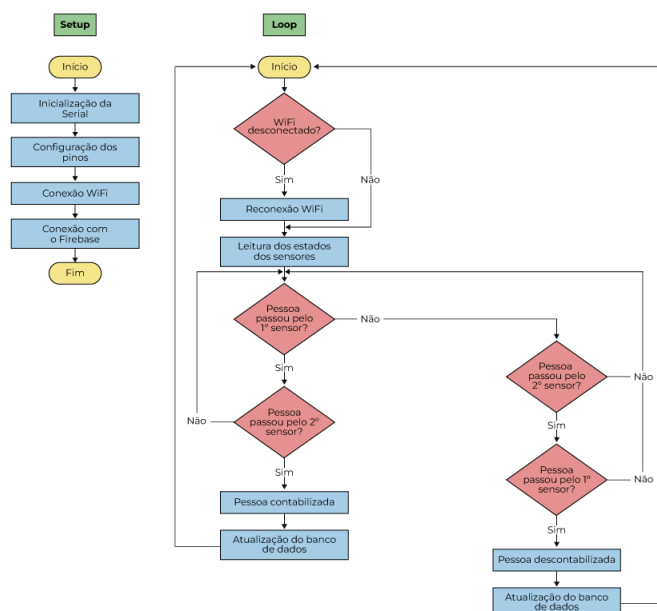
O sistema foi desenvolvido utilizando o software Arduino IDE como ambiente de programação, fazendo uso da linguagem C++. Nesse contexto, foi desenvolvido o código responsável por interpretar os sinais dos sensores infravermelhos, possibilitando fornecer o número atual de cidadãos no ambiente monitorado, além da utilização da biblioteca "Wifi.h" para estabelecer a conexão do microcontrolador com a rede Wi-Fi local, permitindo a interação com serviços online, envio e recebimento

de dados pela rede.

Para armazenar e disponibilizar os dados, foi adotado o Firebase Realtime Database, um banco de dados hospedado na nuvem. Após o processamento da quantidade de pessoas, o microcontrolador atualiza o valor obtido diretamente no banco, garantindo que as informações estejam sempre sincronizadas e atualizadas.

O fluxograma do programa é apresentado na Figura 5 abaixo.

Figura 5 - Fluxograma do programa.

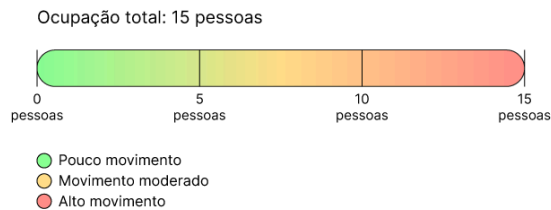


Fonte: Autoria própria.

Para viabilizar a visualização dinâmica da movimentação no ambiente, foi desenvolvida uma aplicação web utilizando a linguagem de marcação HTML, estilo CSS e programação JavaScript. Essa aplicação web se conecta ao banco de dados e é capaz de refletir a numeração atualizada, permitindo aos usuários visualizarem no mesmo momento, o número de indivíduos presentes no local monitorado.

Para uma classificação mais assertiva, foi desenvolvida uma escala de ocupação do ambiente. A partir da lotação do ambiente a ser monitorado, onde o cenário fictício em questão comporta um total de 15 pessoas - tornou-se possível a categorização desse espaço em diferentes níveis de movimento. Assim, surgiram as classificações de "Pouco movimento", "Movimento moderado" e "Alto movimento", todas representadas na Figura 6. A escolha das cores foi baseada no conhecimento comum que essas cores possuem na sociedade. A partir desse exemplo, é possível classificar outros ambientes com diferentes capacidades de lotações.

Figura 6 - Escala de ocupação do ambiente.



Fonte: Autoria própria.

A importância da obtenção dessa análise de forma rápida e visualmente intuitiva se reflete diretamente na capacidade do usuário em tomar decisões informadas. Um exemplo prático seria a capacidade de selecionar o momento mais propício para lidar com assuntos bancários por meio de uma rápida análise sobre se há mais pessoas entrando ou saindo do estabelecimento, prevenindo, assim, extensas esperas em filas ou a chegada ao local sem tempo suficiente para ser atendido.

A escolha das linguagens de programação e tecnologias utilizadas foi baseada na simplicidade da aplicação e na compatibilidade com a IDE Arduino, possibilitando uma solução eficiente e de fácil utilização. A Figura 7 adiante ilustra o diagrama de conexão entre hardware e software.

Figura 7 - Diagrama de conexão entre Hardware e Software.

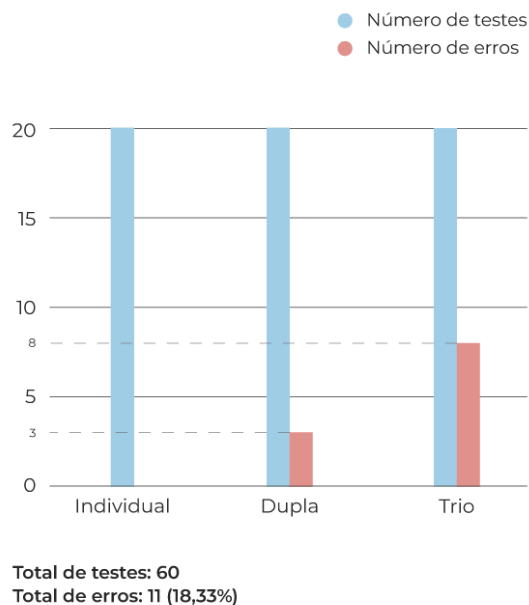


Fonte: Autoria própria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema de contabilização foi testado em um ambiente simulado com o mesmo acesso de entrada e saída. Foram realizadas avaliações abrangentes, incluindo testes em trio, em dupla e individualmente, tanto na fase de ida quanto na de volta, para assegurar a eficácia e a robustez do sistema. De um total de 60 eventos, o dispositivo contou 49 corretamente. O número de erros e a quantidade de testes em cada caso pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Gráfico contendo o número de testes e erros em cada caso.



Fonte: Autoria própria.

No contexto do experimento realizado, verificou-se uma eficácia geral na contagem quando os indivíduos transitavam individualmente. Entretanto, foram identificadas algumas inconsistências significativas durante os testes conduzidos com participantes em duplas ou trios, nos quais estes transitavam em fila com muita proximidade ou lado a lado. A representação gráfica da simulação dos erros pode ser visualizada na Figura 9.

Figura 9 - Representação gráfica dos tipos de erros ocorridos.

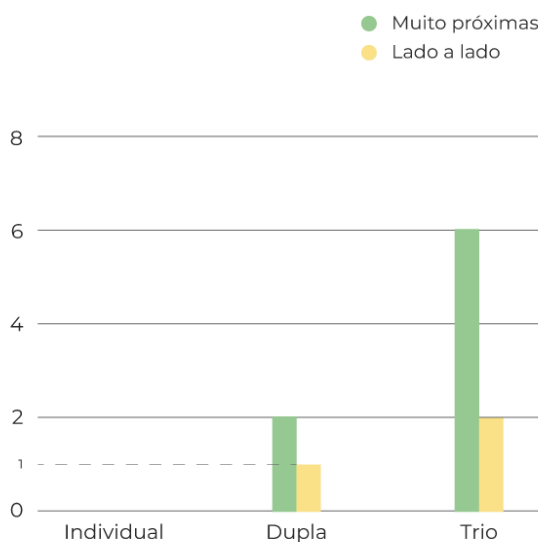


Fonte: Autoria própria.

Na figura acima, a representação à esquerda retrata os erros que ocorrem quando as pessoas estão muito próximas umas das outras, enquanto a representação à direita refere-se a situações em que as pessoas estão lado a lado.

Esses erros indicaram uma limitação na capacidade do sistema em contabilizar passagens múltiplas de maneira simultânea. A Figura 10 ilustra a distribuição dos erros, categorizando-os de acordo com seu tipo.

Figura 10 - Gráfico que apresenta a quantidade e tipo de erros para cada caso de teste.



Total de erros - Pessoas muito próximas: 08
Total de erros - Pessoas lado a lado: 3

Fonte: Autoria própria.

Uma análise mais aprofundada dos erros, também realizada no ambiente simulado, revelou a importância crucial de manter uma distância mínima de 30 cm entre os participantes para assegurar uma contagem mais precisa. Em situações em que essa

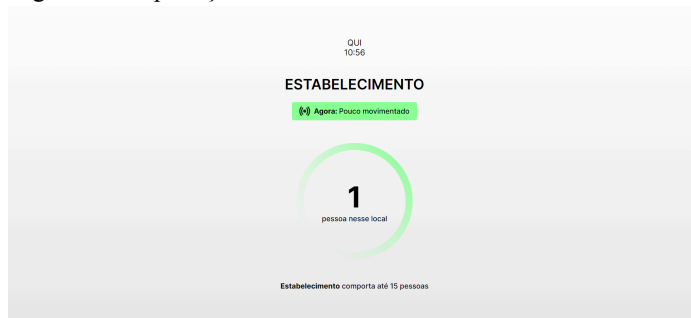
condição era atendida, o sistema operava de maneira consistente.

Entretanto, em situações em que os participantes se encontravam dispostos lado a lado, a pessoa em proximidade imediata ao sensor interrompia o feixe de luz, resultando no registro de apenas uma passagem. Essa constatação indica que o sistema interpreta a interrupção como uma única passagem, atribuindo-a à pessoa mais próxima ao sensor, mesmo quando envolvia múltiplos indivíduos.

Conseqüentemente, é possível concluir que a precisão do sistema está intrinsecamente relacionada à manutenção da distância mínima estabelecida entre os participantes. Ademais, o comportamento do sensor, quando as pessoas estavam muito próximas, revela uma limitação inerente às características do sistema. Essa limitação pode ser facilmente contornada por meio do controle na entrada e saída do estabelecimento, possibilitando assim, aumentar a eficácia do sistema em até 100%. Dessa forma, mesmo com uma pequena porcentagem de erro, o nível de precisão atende satisfatoriamente às aplicações previstas, uma vez que os erros observados eram esperados, já que são inerentes às limitações dos sensores infravermelhos.

A apresentação dos resultados na aplicação web foi planejada de forma a proporcionar uma experiência visual simples e intuitiva aos utilizadores. A mudança de cores permite uma rápida identificação do status do ambiente em relação à capacidade máxima, representada nas Figura 11 a 13.

Figura 11 - Aplicação web - tela de status “Pouco movimento”.



Fonte: Autoria própria.

Figura 12 – Aplicação web - tela de status “ Movimento moderado”.



Fonte: Autoria própria.

Figura 13 – Aplicação web - tela de status “Alto movimento”.



Fonte: Autoria própria.

6. CONCLUSÕES

Em termos gerais, os resultados obtidos com a implementação desse sistema são positivos. A contagem de pessoas, em conjunto com a classificação adequada do movimento e a apresentação visual intuitiva fornecem aos usuários uma melhor experiência, além de ser uma ferramenta valiosa para monitorar a ocupação atualizada e tomar decisões embasadas para garantir o uso eficiente do espaço disponível.

As escolhas dos materiais, mostraram-se adequadas para a proposta planejada inicialmente. Os sensores possibilitam fornecer de forma prática o número estimado de cidadãos no ambiente, tendo um percentual de aproximadamente 82% de acertos na contagem. A implementação de uma aplicação web associada a IoT proporcionou uma solução prática e moderna para a aplicação prevista.

Mesmo com sua eficácia, a tecnologia utilizada também apresenta algumas limitações importantes a serem consideradas. Por exemplo, a utilização do sensor IR pode resultar em falhas na contabilização, especialmente quando as pessoas transitam em fila com muita proximidade ou lado a lado. Além disso, as restrições de alcance e o fato de funcionar apenas em ambientes internos restringem a sua aplicação em certos cenários. Apesar dessas limitações, a proporção de falhas não é suficientemente significativa para invalidar a eficácia geral do protótipo em atingir o objetivo proposto. Além disso, contornar algumas dessas limitações torna-se simples ao adotar um sistema eficiente de monitoramento das entradas e saídas no estabelecimento, possibilitando uma eficácia de até 100%. Por exemplo, a adoção de um sistema que permita a entrada de apenas uma pessoa por vez, como uma catraca, ilustra uma abordagem eficaz para contornar essas limitações.

Para aprimorar ainda mais a eficácia do sistema, é possível realizar análise de desempenho dos algoritmos, especialmente aqueles que envolvem a otimização de estruturas de repetição, emergindo como uma abordagem viável e crucial para aprimorar a eficácia do sistema. Ao compreender e aprimorar a eficiência dos laços de repetição, não apenas podemos reduzir o tempo de execução do código, mas também aprimorar significativamente o tempo de resposta do sistema como um todo.

A produção deste artigo representa uma contribuição para o avanço do conhecimento e aplicação da IoT, estabelecendo-se como uma tecnologia aliada na gestão de serviços essenciais. Ao abordar os desafios e oportunidades relacionados à implementação desse sistema, o estudo oferece informações valiosas para pesquisadores, profissionais e gestores interessados em utilizar essa tecnologia em diferentes contextos. Além disso, o artigo pode servir de base para a aplicação real da solução,

incentivando futuros desenvolvimentos e melhorias na área. Com isso, espera-se que o trabalho apresentado estimule o surgimento de novas pesquisas e avanços tecnológicos, impulsionando a eficiência e eficácia do monitoramento de fluxo de pessoas em tempo real e ampliando o potencial de aplicações da IoT em diversos setores da sociedade.

7. REFERÊNCIAS

- [1] DIAS, Leticia Rezende. O DESAFIO DA GESTÃO DE FILAS NO SERVIÇO DE ATENDIMENTO AO PÚBLICO. 2013. 18 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9BFJWZ/1/monografia_let_cia.pdf. Acesso em: 31 maio 2023.
- [2] OLIVEIRA, Ellis Bezerra de Mendonça. Internet das Coisas (IoT) e a Proteção dos Dados: uma análise da aplicabilidade do RGPD aos dispositivos inteligentes. 2021. 31 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Universidade do Porto, [S.I.], 2021. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/138486/2/520309.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023.
- [3] DEORE, Arjun; MATHEW, B.. Real Time People Counting System with Wireless Network. International Journal Of Scientific And Research Publications. [S.I.], p. 2250-3153. ago. 2015. Disponível em: <https://www.ijsrp.org/research-paper-0815/ijsrp-p44117.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023.
- [4] GUPTA, Sakshi; MANDAVA, Sreenitya; REDDY, B. Chandrakanth. Arduino UNO Based Visitors Counting System for Vaccination Rooms. International Research Journal Of Engineering And Technology (Irjet), [S.I.], v. 8, n. 11, p. 1645-1649, nov. 2021. Disponível em: <https://www.irjet.net/archives/V8/i11/IRJET-V8I11269.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2023.
- [5] PRASANNA, Reddy Lakshmi; PAVITHRA, Mantena Leela; AHUJA, Vinod. Smart Attendance Counting System using IOT and IR sensor. International Journal Of Research In Advent Technology, [S.I.], v. , n. , p. 174-177, [S.I.], 2019. Disponível em: https://ijrat.org/downloads/Conference_Proceedings/NCRCEST-19/CS19153.pdf. Acesso em: 06 jun. 2023.
- [6] SANTOS, Rafael Lino dos; OLIVEIRA, Henrique Candido de; ALMEIDA, Madson Cortes de; VIEIRA, Daniel Filipe; LACUSTA JUNIOR, Eduardo Pentead; JI, Tuo. A Low-Cost Bidirectional People Counter Device for Assisting Social Distancing Monitoring for COVID-19. Journal Of Control, Automation And Electrical Systems, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 1148-1160, 11 abr. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40313-022-00916-z>.
- [7] MATUSKA, Slavomir; MACHAJ, Juraj; HUDEC, Robert; KAMENCAY, Patrik. An Improved IoT-Based System for Detecting the Number of People and Their Distribution in a Classroom. Sensors, [S.L.], v. 22, n. 20, p. 7912, 18 out. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s22207912>.
- [8] SAMUEL, Moveh; AJIBADE, Samuel-Soma M; MOVEH, Fred Fudah. A.I. Driven Thermal People Counting for Smart Window Facade Using Portable Low-Cost Miniature Thermal Imaging

- Sensors. Preprints 2020. <https://doi.org/10.20944/preprints202001.0067.v1>.
- [9] DIN, M Mat; NORDIN, N N; SIRAJ, M Md; KADIR, R. IOT Real-Time People Counting Using Raspberry PI (IOT-RepCO). Iop Conference Series: Materials Science and Engineering, [S.L.], v. 864, n. 1, p. 012093, 1 maio 2020. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/864/1/012093>.
- [10] YAIK, Ooi Boon; WAI, Kong Zan; TAN, Ian K.T.; SHENG, Ooi Boon. Measuring the Accuracy of Crowd Counting using Wi-FiProbe-Request-Frame Counting Technique. Journal Of Telecommunication, Electronic And Computer Engineering, [S.I.], v. 8, n. 2, p. 79-81, [S.I.]. Disponível em: <https://jtec.utem.edu.my/jtec/article/view/961/552>. Acesso em: 06 jun. 2023.
- [11] MOHAMMEDI, Yaren Melek; PETERSSON, Matilda. Real-time Counting Of People In Public Spaces. 2022. 26 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciência da Computação, [S.I.], [S.I.], 2022. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1693714/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [12] RAHMAN, A s F; YAAKOB, S B; A RAZAK, A R; A RAMLEE, R. Post COVID-19 implementation of a bidirectional counter with reduced complexity for people counting application. Journal Of Physics: Conference Series, Melaka, v. 1878, n. 1, p. 012040-012045, 1 maio 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1878/1/012040>.
- [13] PIECHOCKI, Mateusz; KRAFT, Marek; PAJCHROWSKI, Tomasz; ASZKOWSKI, Przemyslaw; PIECZYNSKI, Dominik. Efficient People Counting in Thermal Images: the benchmark of resource-constrained hardware. Ieee Access, Poznan, Poland, v. 10, p. 124835-124847, 02 dez. 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2022.3225233>.
- [14] NKELEME, Victor Obinna; TAHIR, Aljazuli Abdullahi; MOHAMMED, Yakubu. Design and Implementation of Classroom Crowd Monitoring System. African Scholar Journal Of African Innovation & Advanced Studies (Jaias-2), Mubi, Adamawa State, v. 24, n. 2, p. 165-178, mar. 2022. Disponível em: https://www.africanscholarpublications.com/wp-content/uploads/2022/05/AJAIAS_Vol24_No2_March_2022-10.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [15] MELO, V. H. C.; ALMEIDA, S. S.; MENDES, J. C.; MENOTTI, D.. A Methodology for Evaluation of People Counting Methods based on Video Analysis. Disponível em: http://www.decom.ufop.br/sibgrapi2012/eproceedings/wuw/102845_1.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [16] SRUTHI, M.s.. IOT BASED REAL TIME PEOPLE COUNTING SYSTEM FOR SMART BUILDINGS. International Journal Of Emerging Technology And Innovative Engineering, Coimbatore, v. 5, n. 2, p. 83-86, fev. 2019. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3340446. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [17] YU, Tianqi; WANG, Xianbin. Real-Time Data Analytics in Internet of Things Systems. Handbook Of Real-Time Computing, London, Canada, p. 1-28, jan. 2020. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-4585-87-3_38-1.
- [18] SWAMINATHAN, Dr. B.; RAHUL, R.; RAGUL, S.; RAMAVEL, M. Integration of IOT and Data Analytics: Performance Analysis System for Outdoor Sports using Electromyography and Image Data. International Journal Of Applied Engineering Research, Tamil Nadu, India, v. 13, n. 8, p. 6158-6164, 2018. Disponível em: https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n8_75.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [19] LIRA, Alessandro de Freitas. A CONTRIBUIÇÃO DA COMPUTAÇÃO EM NUVEM PARA A CURADORIA DIGITAL EM AMBIENTES CORPORATIVOS. 2015. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão da Informação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/34850/1/Alessandro%20de%20Freitas%20Lira.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [20] SILVA, Eva Fabiana Neves da; SILVA, Darlan Marques da. SIMULAÇÃO DE FILAS EM UMA AGÊNCIA BANCÁRIA: UM ESTUDO REAL. 2017. 7 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de Rio Verde, [S.I.], 2017. Disponível em: https://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/SIMULA%C3%87%C3%83O%20DE%20FILAS%20EM%20UMA%20AG%C3%8ANCIA%20BANC%C3%81RIA_%20UM%20ESTUDO%20REAL.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [21] LIMA, Katiucya Juliana Rodrigues de; MARTINS, Cassia Santos; DIAS, Glebton Danilo; REATEGUI, Lucas Lima; COSTA, Luanna Barbosa. ESTUDO DA TEORIA DAS FILAS APLICADO A UMA EMPRESA PRESTADORA DE SERVIÇOS DE POSTAGEM. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, João Pessoa, p. 2-19, out. 2016. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/tn_stp_233_360_28859.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [22] LIMA, Ariane Souza; LOURENÇO, José Wilker dos Santos; RODRIGUES, Taynara Marques; SANTOS, Thayne Cristina Cardoso. Estudo de caso: Aplicação da teoria das filas em uma lotérica. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento., [s. l.], v. 4, n. 5, p. 1-11, maio 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/kalins-pdf/singles/teoria-das-filas.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [23] OLIVEIRA, Francieli de Fátima de; BUENO, Mara Lucia Grando; Marcel Belusso; Stefan Antônio. ANÁLISE DE TEORIA DAS FILAS: SISTEMA DE FILAS DE UM SERVIÇO DE PRONTO ATENDIMENTO. 2017. 4 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Uceff, [S.I.], 2017. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/engprod/article/view/88/91>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- [24] NAZARÉ, Tiago Bittencourt; NARCIZO, Aleziana Alves; SANTOS, Pollyana Moura Carias dos; ALVES, Taisa de Souza. GESTÃO DE FILAS. Revista Mythos, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 106-112, 13 set. 2019. Revista Mythos. <http://dx.doi.org/10.36674/mythos.v10i2.242>.
- [25] PINTO, Ângelo Santos. Aplicação da Teoria de Filas na Análise da Capacidade Operacional de um Sistema - Estudo Caso

BCA Porto Novo. 2011. 17 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Contabilidade e Administração, Instituto Superior de Ciências Económicas e Empresariais, Mindelo, 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/38680356.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.