



# InventIo: Rastreamento de Equipamentos com RFID

*C. S. Pinheiro    L. R. Rodrigues    J. F. Borin*

Relatório Técnico - IC-PFG-24-07  
Projeto Final de Graduação  
2024 - Junho

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

The contents of this report are the sole responsibility of the authors.  
O conteúdo deste relatório é de única responsabilidade dos autores.

# InventIo: Rastreamento de Equipamentos com RFID

Cristiano Sampaio Pinheiro \*    Lucas Ribeiro Rodrigues\*    Juliana Freitag Borin\*

## Resumo

O InventIo é uma plataforma, de uso exclusivo do Instituto de Computação da Unicamp, concebida para o rastreamento de objetos com o fim de gerenciar a movimentação de itens críticos. Essencialmente, a aplicação possibilita o cadastro de objetos com *tags* de identificação por radiofrequência (RFID) e a gestão de sensores para sua detecção. Sempre que um sensor identifica uma *tag* (objeto) é gerado um histórico contendo sua localização e horário em que o item foi identificado.

A presente etapa do projeto busca avançar o sistema existente com a adição de novas funcionalidades, compreender e validar o uso da tecnologia RFID e, por fim, instalar a solução nas dependências do Instituto de Computação. Além disso, também é de interesse realizar avaliações para ampliar o escopo de uso dessa tecnologia no campus.

Após realizar as melhorias previstas e conduzir uma série de experimentos, os resultados obtidos demonstram o potencial da plataforma InventIo mas, também, expuseram limitações consideráveis. Em especial a tecnologia RFID se mostrou demasiadamente sensível a interferências, o que restringe o uso do sistema. Quanto a aplicação dessa tecnologia em outros contextos, foi avaliada a possibilidade de automatizar o processo de inventário do Instituto. Os resultados são promissores, e, apesar de limitações quanto ao uso de *tags* em superfícies metálicas, meios para contornar essa restrição foram explorados.

## 1 Introdução

A gestão eficiente de inventário é uma prática essencial para organizações de diversos setores, impactando diretamente a produtividade, a eficiência operacional e a segurança dos ativos. O rastreamento e controle de itens é particularmente desafiador em instituições de grande porte, onde a movimentação constante de objetos torna o processo manual exaustivo e suscetível a erros. Com isso, o uso de tecnologia se mostra como uma solução para automatizar e otimizar o gerenciamento de inventários.

Nesse contexto, o InventIo é uma plataforma concebida em 2021 para o rastreamento de objetos, sendo exclusivamente de uso interno do Instituto de Computação da Unicamp (IC). Essencialmente, a aplicação possibilita o cadastro de objetos identificados por *tags* inteligentes de diferentes tecnologias (Identificação por radiofrequência, Bluetooth Low Energy, etc) e a gestão de sensores para sua detecção. Sempre que um sensor identifica um objeto, é gerado um histórico contendo sua localização e horário em que o item foi identificado. A princípio, os sensores devem ser posicionados nas portas dos prédios, possibilitando controle da entrada e saída de itens. No futuro, também é de interesse expandir a infraestrutura para monitorar a movimentação interna.

Apesar de se encontrar em estado funcional, a aplicação apresenta desafios que impossibilitam sua instalação efetiva. Dessa forma, o presente trabalho objetiva realizar manutenção na infraestrutura existente e aplicar as modificações necessárias para validar e instalar o sistema nas dependências do Instituto de Computação.

---

\*Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, 13083-852, Campinas, SP.

Como a plataforma é flexível quanto à tecnologia empregada, optou-se por avaliar o uso da tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID - *Radio Frequency Identification*). Um sistema RFID consiste em etiquetas (*tags*) que contêm informações e um sensor que lê essas *tags* remotamente, sem precisar de contato físico. Tal tecnologia vem se destacando em cenários de logística devido a sua precisão e eficiência em comparação aos métodos tradicionais, como códigos de barras [1]. Nesse contexto, os Correios já anunciaram a adoção dessa tecnologia para um rastreamento de encomendas mais eficiente [2].

O RFID transcendeu seu uso puramente logístico e tem visto uma crescente adoção em diversos setores nos últimos anos. De acordo com Oztekin et al. [3], a tecnologia RFID no setor de serviços de saúde está crescendo exponencialmente, cabendo destaque a aplicação feita pelo Hospital Israelita Albert Einstein para solucionar diversas demandas internas [4]. Além disso, a tecnologia tem sido fundamental no setor de transações financeiras, onde uma parcela significativa da população mundial interage diariamente com RFID através de cartões que permitem pagamentos por aproximação [5].

Dessa forma, nesta fase do projeto, realizamos um estudo abrangente sobre a tecnologia RFID e foi avaliado seu uso em conjunto com a plataforma InventIo. Soluções similares foram exploradas como fonte de inspiração para propor avanços e consolidar a atual proposta. Além disso, considerando a versatilidade da tecnologia, também foi avaliada sua aplicação para outros propósitos dentro do campus. Todas as melhorias e testes realizados colaboraram para resultados determinantes para a evolução do projeto.

## 2 Trabalhos Relacionados

Com a crescente disseminação da tecnologia RFID [6] vários estudos têm explorado seu potencial nas mais diferentes áreas. O atual projeto busca adotar essa tecnologia para gerenciar a entrada e saída de itens relevantes das dependências de uma instituição pública. Tal iniciativa se inspira em diversas outras aplicações em diferentes contextos, como: gerenciamento de cadeia de suprimentos, construção civil, industrial, saúde/clínica, acessibilidade, entre outras.

Pontikis e Kefallinos [7] buscam explorar a viabilidade de desenvolvimento de um sistema de gestão de itens autônomo. Com foco em empresas, os autores usam de diversos métodos para examinar as organizações e compreender aspectos como fluxo de valor, maturidade digital e problemas operacionais. A partir disso, a solução proposta faz uso de RFID e do microcontrolador ESP32. Um protótipo foi desenvolvido e submetido a testes rigorosos, que incluíram a avaliação de diferentes tipos de sensores (13.56 MHz e 125 kHz) em diversas circunstâncias. Foi confirmada a precisão e confiabilidade da implementação em cenários reais, no entanto, os testes mostraram sua fragilidade quanto a interferências. Embora a perda de sinal tenha sido mínima em ambientes com obstáculos plásticos e em condições de chuva, não foram obtidas leituras quando havia obstáculos metálicos presentes.

Bisio, Sciarrone e Zappatore [8] apresentam uma arquitetura original que emprega RFID e Bluetooth Low Energy (BLE) no contexto de construção civil. A motivação central reside na gestão eficiente do grande número de equipamentos utilizados em operações desse setor, os quais frequentemente ocupam áreas extensas e estão sujeitos a perdas. Assim, a aplicação apresenta resiliência, ao aplicar tags RFID e BLE nos objetos, além de fazer uso de smartphone como parte do sistema de rastreamento. Etiquetas também foram atribuídas aos funcionários para possibilitar a identificação dos responsáveis pela movimentação. O diferencial da proposta está na utilização do indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI - *Received Signal Strength Indicator*) das etiquetas BLE e do GPS dos smartphones para estimar a localização dos objetos. A eficácia da arquitetura

foi validada por simulações exaustivas, as quais confirmaram a capacidade do sistema em detectar quase todas as etiquetas presentes no canteiro de obras com boa eficácia energética.

Evizal et al. [9] abordam um contexto mais abrangente, voltado para indústrias e empresas, ao propor um sistema de rastreamento de objetos usando RFID, com implantação de leitores em pontos estratégicos. A proposta faz uso de *tags* ativas e é subdividida em três sistemas: sistema de rastreamento interno, externo e de pontos de verificação. Com uma abordagem semelhante ao artigo anterior [8], o sistema usa o RSSI para estimar a distância entre os objetos e as antenas, acionando notificações via GSM em caso de movimentações suspeitas. Testes foram conduzidos para verificar fatores como alcance, área de cobertura, tempo de resposta e o desempenho com diferentes configurações de *hardwares*, e em diferentes cenários. Os resultados obtidos são promissores, porém evidenciaram respostas variadas para cada sistema, devido ao fator ambiental e ao efeito de propagação.

Ainda no ecossistema de rastreamento usando RFID, Oztekin et al. [3] apresentam uma metodologia destinada a otimizar sistemas de rastreamento de ativos médicos, considerando um número limitado de leitores RFID. Os autores partem da premissa de que o número de antenas RFID disponíveis é insuficiente para garantir uma cobertura completa. Assim, é proposto um algoritmo genético para determinar o posicionamento ideal dos sensores. Os testes realizados no *Stillwater Medical Center*, utilizando *tags* ativas e 4 antenas, revelaram que a realocação dos dispositivos pode gerar um aumento significativo na área de cobertura, chegando a um ganho de até 72%.

Shaari e Nor [10] apresentam um sistema de armazenamento inteligente capaz de informar a posição e orientação de objetos guardados. A solução tem como objetivo oferecer assistência para pessoas com deficiência visual. Com esse fim, a aplicação faz uso de *tags* RFID passivas com o ecossistema do Arduino. Os resultados demonstram eficácia na determinação da posição e orientação dos objetos armazenados, no entanto, para tal foi necessário o uso de até oito *tags* por item, cobrindo toda sua superfície.

Uma solução inovadora, que combina tecnologia UHF RFID com Ultra-Wideband (UWB), é proposta por Frankó, Vida, e Varga [11] visando oferecer suporte à gestão de ativos de forma escalável, confiável e econômica no contexto da indústria 4.0. A solução implementa rastreamento indireto, empregando triangulação sobre o sinal UWB para determinar a localização das empilhadeiras, que possuem leitores UHF RFID para identificar os itens que estão sendo transportados naquele momento. Apesar de reconhecerem que essa abordagem pode estar sujeita a erros, os autores demonstram que o sistema proposto é confiável. No entanto, desafios como a distinção entre os processos de carga e descarga, bem como problemas de interferência, foram identificados e discutidos.

Grier, Marchini e Zimmerman [1] apresentam uma solução voltada para empresas de gerenciamento de cadeia de suprimentos, com o objetivo de monitorar os veículos, suas cargas, e registrar onde e quando os itens foram carregados e descarregados. O sistema destaca-se por fazer uso de uma combinação de tecnologias e sensores, incluindo sensores de efeito Hall, sensores de movimentos, leitores RFID, GPS, e GSM. A abordagem de usar vários sensores permite uma compreensão aprimorada dos movimentos realizados, possibilitando a distinção entre carregamento e descarregamento, por exemplo. Nos testes de campo, os autores relataram uma taxa de 100% de acurácia na determinação da direção do movimento, enquanto que a taxa de leitura foi de até 88%.

Outra aplicação é discutida por Kawakita et al. [12] que faz uso da tecnologia RFID para gerenciar um evento com mais de 150.000 participantes em Tóquio. Os testes compararam o uso de um leitor de código de barras, utilizado como controle, com diferentes leitores RFID. O principal objetivo, determinar o número de visitantes, foi alcançado com uma taxa média de leitura de 96,8%. No entanto, os autores relataram perdas de leitura devido a interferências causadas por outros equipamentos eletrônicos portados pelos visitantes. Quanto aos sensores, não foi notada

uma diferença significativa entre os leitores RFID de diferentes fabricantes.

Como exposto, a versatilidade da tecnologia RFID permite sua aplicação nas mais diversas áreas. No entanto, cabe salientar que a grande maioria dos estudos apresentados procura aplicar essa tecnologia em ambientes minimamente controlados e com certa previsibilidade, como a ação de carga e descarga de um caminhão. Nesse sentido, a solução apresentada neste relatório procura extrapolar essa limitação e rastrear objetos em um ambiente mais dinâmico, com pessoas se deslocando livremente e portando os objetos de diferentes formas, como detalhado na próxima seção.

### 3 Objetivo

O objetivo principal do projeto consiste em consolidar, validar e aprimorar uma solução para registrar o histórico de movimentação dos ativos móveis, como cadeiras e notebooks, do Instituto de Computação da UNICAMP. Tal aplicação auxiliará no gerenciamento dos itens, possibilitando localizá-los entre as diferentes dependências do Instituto e, também, identificar movimentações suspeitas e indevidas dos equipamentos.

Em segundo plano, o projeto busca compreender melhor a tecnologia RFID, suas aplicações, limitações e casos de uso nas dependências do campus; visando não só aplicá-la na solução apresentada mas também abrir caminho para implementações futuras.

Para atingir esses propósitos, o projeto desdobra-se em objetivos específicos, que são os seguintes:

1. **Manutenção da Aplicação Existente:** O Projeto InventIo teve início no segundo semestre de 2021, na disciplina *MC855 - Projeto em Sistemas de Computação*. Consequentemente, o código-fonte exige atualizações para manter sua relevância e evitar possíveis falhas. Ademais, devido à evolução do projeto, algumas modificações nos requisitos da aplicação também se mostram necessárias.
2. **Estudos da Tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID):** Desde sua origem, a aplicação apresenta flexibilidade em relação aos sensores utilizados. Nesse contexto, definiu-se explorar a identificação por radiofrequência nos testes iniciais. Assim, um abrangente estudo está sendo realizado a respeito desta tecnologia, especialmente sua aplicação em cenários semelhantes ao proposto.
3. **Validação da Solução:** Apesar de se encontrar em estado avançado de desenvolvimento, a aplicação ainda não foi suficientemente testada. Assim, está em curso uma robusta bateria de testes para ratificar a efetividade da solução.
4. **Instalação da Aplicação nas Dependências do Instituto de Computação:** Com as etapas anteriores, torna-se viável, e desejável, a instalação de uma versão simplificada do projeto, *Minimum Viable Product - MVP*, nas dependências do Instituto de Computação. Além da realização de testes de campo para determinar a efetividade da solução para o problema proposto.
5. **Ampliação do Escopo de Uso:** Com a versatilidade da tecnologia RFID, é de interesse explorar sua aplicação para outros fins, ainda dentro do Instituto de Computação. De forma a realizar testes para validar novos casos de uso, como a automatização do processo de inventário patrimonial da instituição.

Estes objetivos fornecem uma estrutura clara para a implementação do projeto e são orientados para a manutenção e escalabilidade da solução. Ainda, visam contribuir para o entendimento da tecnologia de identificação por radiofrequência e favorecer seu uso futuro no campus.

## 4 Proposta

Como citado na sessão anterior, o projeto InventIo nasceu em 2021, nesse contexto, é pertinente citar os resultados obtidos pela equipe anterior [13], bem como as melhorias propostas para aprimorar o sistema.

O InventIo é uma plataforma concebida para o rastreamento de objetos, gerenciada pelo IC e flexível quanto à tecnologia empregada. Uma visão geral do sistema é apresentada na Figura 1. Essencialmente, a aplicação possibilita o cadastro de objetos identificados por *tags* inteligentes (RFID, Bluetooth Low Energy, etc), representados por **A** na Figura 1, e a gestão de sensores para sua detecção, **B**. Sempre que um sensor identifica uma *tag* (objeto), o microcontrolador, **C**, realiza uma requisição ao servidor, **D**, gerando um histórico contendo sua localização e horário em que o item foi identificado. A consulta das informações coletadas, assim como outras manipulações do sistema, podem ser feitas por meio da aplicação web disponibilizada, **E**.

Em termos de *software*, a plataforma é dividida em três componentes: *front-end*, desenvolvido usando JavaScript juntamente com React; *back-end*, desenvolvido em Python com auxílio do framework Flask e, por fim, *firmware*, desenvolvido especificamente para o microcontrolador Arduino, usando C++. Quanto ao *hardware*, o sensor utilizado deve estar conectado a um Arduino, responsável por enviar os dados coletados ao servidor por meio de HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*).

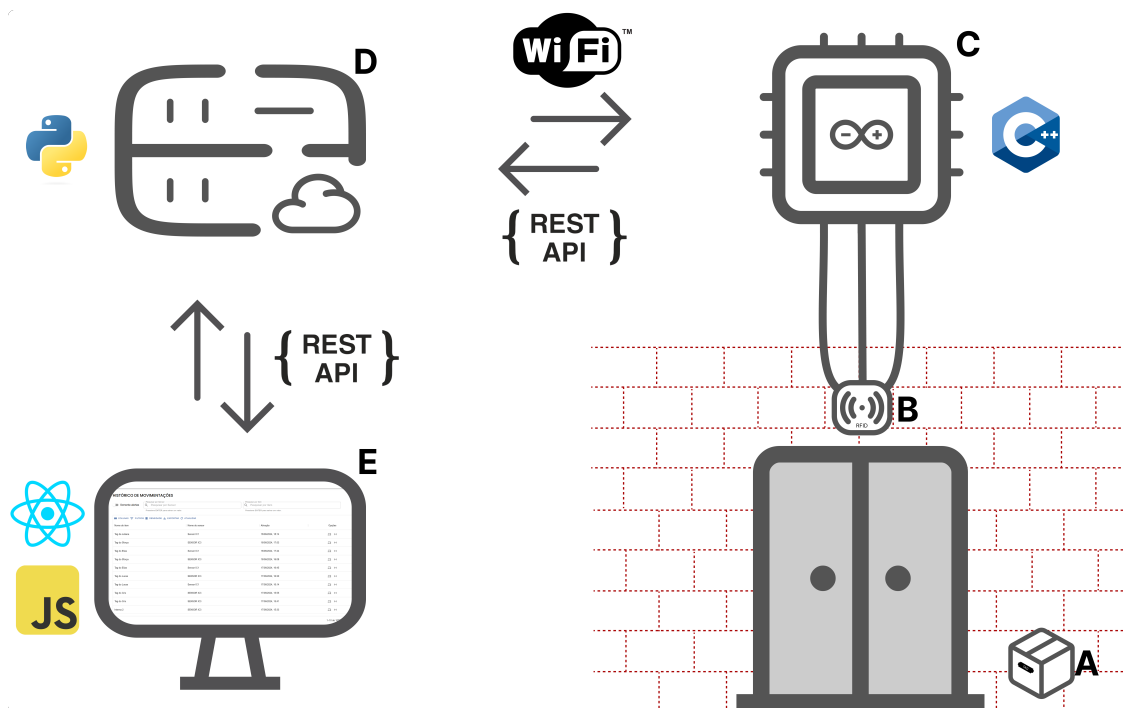


Figura 1: Visão geral do sistema InventIo para rastreamento de objetos no Instituto de Computação da Unicamp.

Como mencionado anteriormente, a aplicação já se encontrava em estágio avançado de desenvolvimento e contava com diversas funcionalidades implementadas antes da nossa colaboração. Embora o sistema web, tanto o *back-end* quanto o *front-end*, estivesse funcional, algumas falhas foram identificadas, e a manutenção tornou-se indispensável. Em particular, a funcionalidade de *login* do sistema estava em risco devido à descontinuação da biblioteca utilizada. Além disso, melhorias na estética, usabilidade e infraestrutura do sistema se mostraram necessárias.

Ademais, alguns requisitos importantes identificados no escopo inicial do projeto ainda não haviam sido desenvolvidos. Nesse contexto, a proposta atual busca validar e implementar essas funcionalidades. Destaca-se, entre elas, a necessidade de notificações, visto que certas movimentações podem ser críticas e exigem um alerta direto ao usuário. Assim, as notificações são uma ferramenta essencial para manter os usuários informados sobre movimentações relevantes captadas pelo sistema.

No que diz respeito ao *hardware*, inicialmente optou-se por testar o uso de sensores de identificação por radiofrequência juntamente com Arduino UNO. RFID é uma tecnologia que usa ondas de rádio para identificar automaticamente pessoas ou objetos. O conceito é semelhante à identificação por código de barras, no entanto, não necessita de leitura direta.

Sistemas RFID normalmente são compostos por três componentes: dispositivo de leitura, transponder (*tags*/etiquetas) e unidade de processamento. O dispositivo de leitura emite um campo eletromagnético para alimentar o transponder, que responde enviando o conteúdo de sua memória de volta ao dispositivo de leitura. Os dados das etiquetas são então transferidos para o computador, onde são processados de acordo com a aplicação.

Cada *tag* armazena um número único de identificação e elas podem ser ativas (com energia própria) ou passivas (usam energia do leitor). Quanto a frequência de operação, RFID atua em duas faixas principais: baixa frequência (30 kHz a 500 kHz), para aplicações de curto alcance e baixo custo, e alta frequência (850 MHz a 2,5 GHz), adequada para leituras de médias a longas distâncias e objetos em movimento [14].

Dessa forma, com o auxílio do grupo que propôs o InventIo, o IC adquiriu duas antenas RFID UHF (*Ultra High Frequency*), modelo Intelbras LE 170, para uso neste projeto, Figura 2. Esse equipamento tipicamente é utilizado para controle de acesso veicular, apresenta frequência de operação de 902-907,5MHz e 915-928MHz com o uso do protocolo *Wiegand* e promete um alcance de até 12 metros [15]. O sensor também apresenta resistência à água, IP66, o que pode ser interessante para uso externo no futuro.

A partir desse *hardware* a montagem do sistema foi concluída, no entanto, a equipe anterior enfrentou desafios que permanecem sem solução e serão abordados nesta nova etapa. Durante alguns testes realizados, percebeu-se a ocorrência de múltiplas leituras para uma mesma movimentação. Esse comportamento é indesejado, não apenas por poluir a base de dados, mas principalmente por dificultar a interpretação dos dados gerados.

Ainda, o microcontrolador utilizado anteriormente não conseguia se comunicar através da rede no Instituto de Computação. Essa questão impede a instalação do sistema nas dependências do instituto, mostrando-se como uma prioridade. Outro fator ligado ao uso do Arduino está na impossibilidade de realizar requisições seguras, HTTPS (*Hyper Text Transfer Protocol Secure*). Mesmo com o uso do *Ethernet Shield*, o *hardware* do Arduino UNO R3 não é capaz de lidar com os certificados necessários para estabelecer uma comunicação segura [16][17]. Novamente, esse é um fator crítico dado que o servidor da aplicação, que está hospedado no *Datacenter* do IC, permite somente requisições via HTTPS.

Além disso, os testes realizados previamente não foram suficientes, de forma que um dos principais objetivos da atual etapa do projeto é a validação da aplicação como um todo. Para isso, novos testes se mostram indispensáveis, abrangendo ambientes controlados e simulando o uso real



Figura 2: Sensor Intelbras RFID UHF LE170 e tag veicular usados no projeto.

do sistema. Com isso, espera-se obter um melhor entendimento do funcionamento da tecnologia RFID e da aplicação em geral, para então validar o sistema e proceder com sua instalação.

Por fim, é previsto realizar a instalação dos dispositivos nas portas de acesso dos edifícios, permitindo gerenciar a entrada e saída dos objetos vinculados ao inventário do Instituto de Computação. Em um segundo momento, pode ser interessante expandir a infraestrutura do sistema, instalando sensores em pontos estratégicos dos prédios e permitindo monitorar a movimentação interna dos itens também. Ambas as abordagens se enquadram no conceito de *Indoor Tracking System* segundo Evizal, Abdul Rahman e Abdul Rahim [9], que apresentam uma proposta de rastreamento semelhante ao InventIo.

Em resumo, esta etapa do projeto busca realizar a manutenção na aplicação existente, implementar funcionalidades já mapeadas, solucionar os desafios identificados, validar o funcionamento do sistema e, finalmente, concluir sua instalação nos prédios do Instituto de Computação.

A Figura 3 apresenta uma visão sistêmica da solução após esse processo de aprimoramento. Com relação à infraestrutura física do Instituto de Computação, os equipamentos serão instalados próximos às entradas e saídas e fará uso da rede Wi-fi dos prédios. A nível de sensores, a aplicação suporta diferentes tipos, cabendo destaque para leitores RFID e BLE. Já em termos de rede, Wi-fi ou Ethernet podem ser empregados. No nível de suporte de dados, o *back-end* da aplicação é responsável por gerenciar o armazenamento das informações. Também existe a possibilidade de exportar os dados em formato CSV (*Comma-Separated Values*) para manipulações externas. Toda essa infraestrutura é suportada pela nuvem disponibilizada pelo IC que, no futuro, pode abrigar rotinas para processamento de dados também.

Finalmente, a nível de aplicação, esperamos que o sistema seja capaz de possibilitar o rastreamento de objetos de maneira a facilitar o gerenciamento dos itens e os processos de empréstimo. Ainda, com as avaliações realizadas, no futuro é possível que o ecossistema da plataforma também gere impacto no processo de inventário da instituição. Esperamos que os dados coletados gerem uma base rica e possam ser utilizadas em ouvidorias, ou mesmo, em pesquisas.

Por fim, espera-se realizar uma avaliação inicial sobre o uso da tecnologia RFID para automatização do processo de inventário patrimonial. Atualmente, esse procedimento é realizado



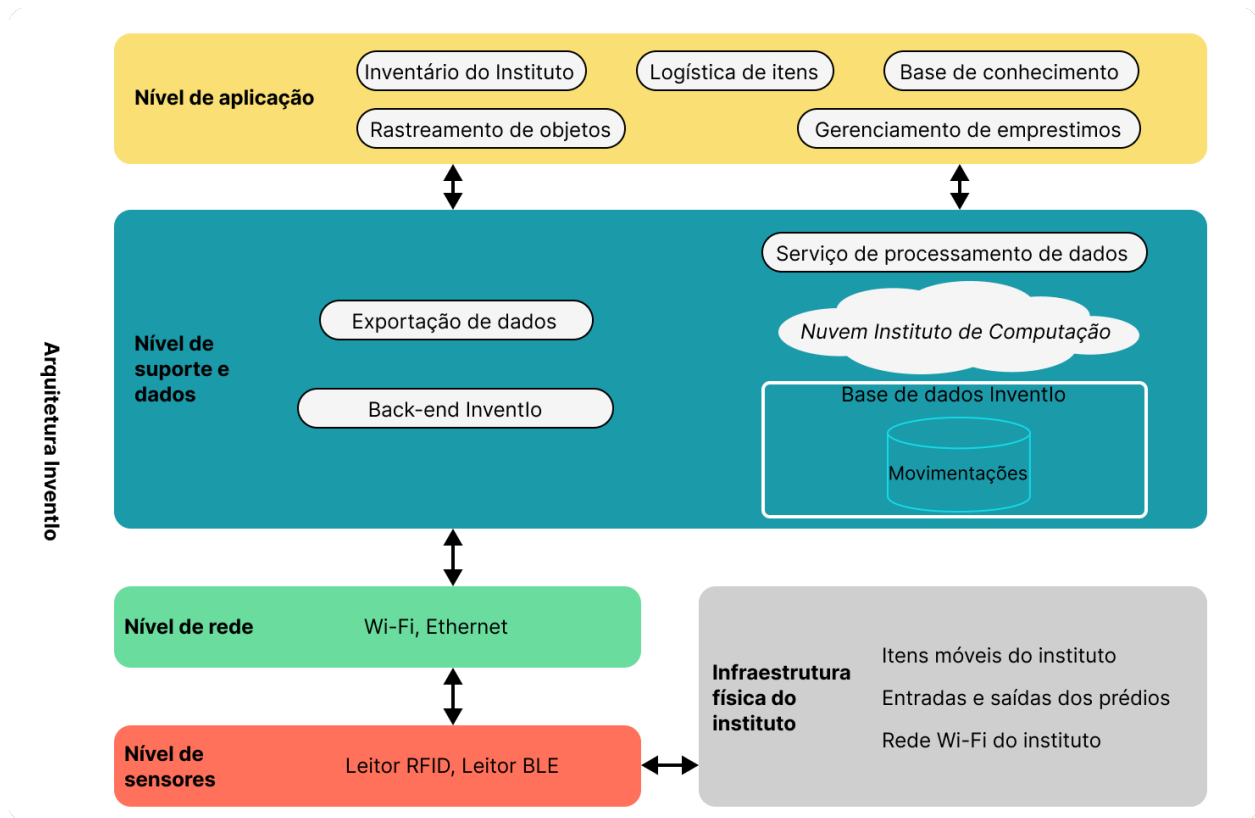


Figura 3: Visão sistêmica da solução InventIo para rastreamento de objetos no Instituto de Computação da Unicamp.

manualmente, tornando-se uma tarefa exaustiva e ineficiente. Acreditamos que o mesmo *hardware* utilizado no InventIo pode ser adaptado para coletar, de forma automatizada, as informações de todos os itens em um determinado ambiente. Para tanto, testes iniciais serão conduzidos para validar essa possibilidade e abrir caminho para projetos futuros consolidarem essa solução.

## 5 Metodologia

### 5.1 Hardware

Conforme já mencionado, a placa de desenvolvimento utilizada anteriormente, Arduino UNO R3, estava de certa forma limitando a aplicação. Assim, a migração para outro microcontrolador surgiu como uma solução para alguns dos desafios identificados. Nesse contexto, o código originalmente concebido para o Arduino UNO foi estendido para oferecer suporte a ESP32 e, posteriormente, a ESP8266. Embora essas placas sejam compatíveis com Arduino, proporcionam recursos adicionais, como maior capacidade de processamento e conectividade Wi-Fi. É importante destacar que, apesar desses recursos aprimorados, essas plataformas ainda mantêm um custo acessível.

Essa atualização elimina o problema de conectividade enfrentado na rede no Instituto de Computação. Mesmo com o uso de um *Ethernet Shield*, o grupo anterior não obteve sucesso ao conectar o Arduino UNO R3 a rede do instituto, ainda, esta abordagem estava limitada à conexão por cabo, algo que dificultava a instalação. Com as novas placas, foi possível fazer o uso da rede Wi-Fi do IC e ter mais flexibilidade na montagem dos equipamentos. Ademais, o suporte do IC disponibilizou

uma rede Wi-Fi isolada para o projeto (*IoT-local*), o que agregou mais robustez à solução.

Além disso, a migração de microcontroladores possibilita a implementação do protocolo HTTPS. Como já citado, o *hardware* do Arduino UNO R3 não é capaz de resolver os certificados, o que restringe sua comunicação somente ao protocolo HTTP. Tanto a ESP32 quanto a ESP8266 oferecem suporte ao protocolo HTTPS, permitindo a validação de certificados e, conseqüentemente, agregando mais segurança à aplicação. Assim, com o novo *hardware* o sistema tornou-se capaz de se comunicar com o servidor em produção, uma vez que esse provedor só aceita requisições seguras.

Outro aspecto crucial relacionado ao *hardware* é a alimentação. Até então, nos testes realizados o microcontrolador era energizado de maneira independente da antena, o que é ineficaz para uma instalação final. Após uma análise dos componentes, concluímos que a fonte de alimentação fornecida com o sensor apresenta capacidade para alimentar também o microcontrolador. A fonte em questão é de 12V com 3A, de acordo com o manual da antena [15], seu consumo máximo é de 1A, o Datasheet da ESP32 prevê um consumo de 500mA [18], enquanto o consumo da ESP8266 é estimado em 80mA [19]. Com isso, a fonte fornecida com a antena pode ser utilizada para alimentar a placa com uma margem de segurança adequada.

Para utilizar essa fonte, é necessário um circuito regulador de tensão para converter os 12V da fonte para 5V, a faixa de tensão esperada para alimentar o microcontrolador. Para montar o circuito, foram empregados um diodo 1N4007, um regulador de tensão LM7805 e capacitores de 1 e 10  $\mu\text{F}$ . A Figura 4 ilustra o esquema do circuito.

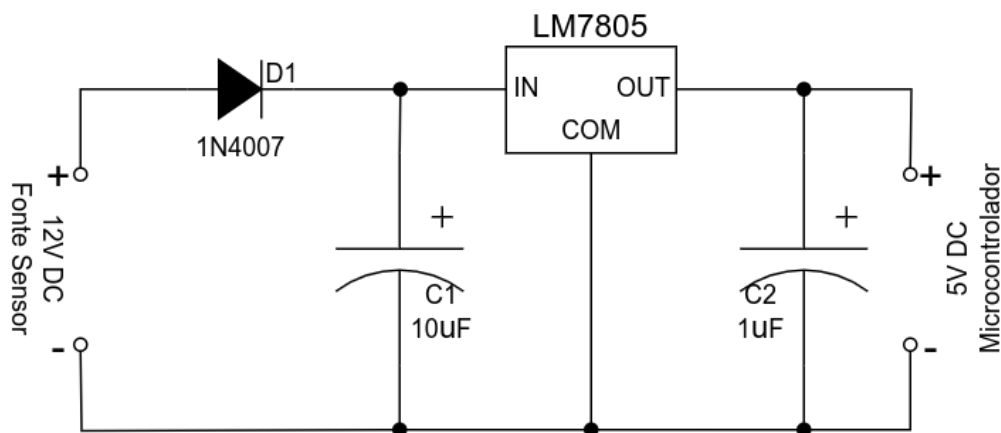


Figura 4: Esquema do circuito regulador de tensão responsável por transformar 12V DC em 5V DC.

No esquema da Figura 4, o diodo D1 (1N4007) protege contra polaridade reversa, evitando danificar os componentes caso o circuito seja ligado de forma invertida. Os capacitores atuam como filtros, de forma que C1 (10  $\mu\text{F}$ ) filtra a tensão de entrada, suavizando ruídos, e o capacitor C2 (1  $\mu\text{F}$ ) estabiliza a saída, garantindo uma tensão constante e limpa. Por fim, o LM7805 regula a tensão para 5V DC. Com isso, é possível obter uma tensão de 5V estável na saída do circuito e alimentar o microcontrolador com segurança.

## 5.2 Software

Ainda relacionado ao *hardware*, o código desenvolvido para o microcontrolador necessitou de modificações para se adequar às novas placas utilizadas. Dado que todas as placas são compatíveis com Arduino, as adaptações concentraram-se na integração dos novos recursos, tais como Wi-Fi e

validação de certificados. Assim, o código final busca ser modular e flexível, de forma a suportar as três placas mencionadas e ser facilmente adaptável para lidar com novos sensores e tecnologias de comunicação.

Para alcançar essa flexibilidade, o código original passou por uma drástica refatoração. Primeiramente, optou-se por abandonar a IDE do Arduino em favor do PlatformIO, uma ferramenta que integra o *Visual Studio Code* ao desenvolvimento para microcontroladores, proporcionando maior flexibilidade e recursos [20]. A estrutura de código foi fragmentada em diversos módulos, adotando-se uma arquitetura básica inspirada no padrão MVC (*Model-View-Controller*) utilizado no framework Django. Por fim, padrões de projeto, como o *Strategy* [21], também foram empregados. Essas alterações têm o intuito de fortalecer a robustez e a adaptabilidade do código para futuras implementações.

Além disso, foram introduzidas várias *flags* de compilação, permitindo uma rápida alteração entre diferentes placas e configurações de uso. Por fim, foi desenvolvido um *mock* para o sensor, viabilizando a continuidade do processo de desenvolvimento mesmo na ausência física de um leitor RFID.

No que concerne ao *back-end* da aplicação, as principais modificações envolveram a implementação de um sistema para o tratamento de múltiplas leituras e a inclusão de notificações por e-mail.

Para o tratamento de múltiplas leituras, foi desenvolvido um filtro de dados semelhante aos implementados em [9] e [12]. Basicamente, sempre que um evento de leitura chega no servidor, o mesmo tenta inserir um registro de *lock* no banco de dados, se já existir um *lock* identificado para o mesmo par sensor-item, a leitura é ignorada. Caso contrário, a instância do *lock* é criada no banco de dados, com tempo de vida configurável dinamicamente. Dessa forma, é possível garantir que leituras redundantes não serão registradas ainda que sejam enviadas ao servidor. A Figura 5 mostra o fluxo para que uma nova leitura seja registrada no sistema.

Para atender à demanda de envio de notificações, foi introduzida uma fila de tarefas no *back-end*. Essas tarefas em segundo plano foram implementadas utilizando o Celery, um sistema distribuído simples, flexível e confiável que permite o agendamento de rotinas [22]. Além disso, o suporte do IC concedeu acesso ao servidor de e-mails do instituto, possibilitando o envio automatizado de e-mails. Assim, foi estabelecida uma rotina durante os dias úteis que coleta todos os eventos relevantes desde a última notificação e os envia por e-mail aos usuários cadastrados. É importante destacar que são considerados como importantes os alertas levantados para objetos marcados como proibitivos para determinados sensores. Dessa forma, garantimos que os usuários do sistema recebam um lembrete diário sobre as movimentações mais críticas captadas pelo sistema.

Além das modificações mencionadas, realizamos ajustes menores como refatoração na estrutura do código, atualização de bibliotecas, ajuste na *pipeline* e adaptações para suportar HTTPS localmente.

Por fim, cabe citar brevemente as alterações no *front-end* da aplicação. A biblioteca usada para dar suporte ao *login* via google, *react-google-login* [23], será descontinuada, o que põe em risco a longevidade do projeto. Dessa forma, a mesma foi substituída por outra biblioteca análoga de nome *react-oauth/google* [24], que ainda recebe suporte frequente dos desenvolvedores.

Ainda, o *front-end* também sofreu correções importantes, em certas páginas algumas informações cruciais para o sistemas não eram exibidas de forma correta, em outras, alguns dados eram mostrados em locais indevidos. Outra melhoria importante foi a divisão de permissões dos usuários. Antes, qualquer usuário era capaz de navegar por todas as páginas do sistema, no entanto, algumas páginas eram exibidas em branco devido às permissões serem aplicadas somente no *back-end*. Agora, o permissionamento também está presente no *front-end*, de forma que os usuários só conseguem acessar páginas que condizem com a sua responsabilidade no sistema. Além disso, novas

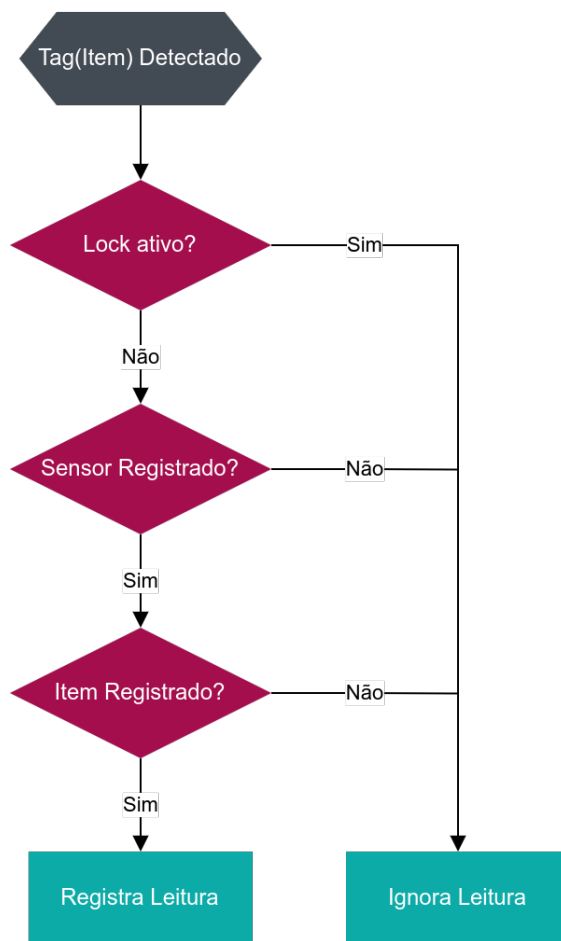


Figura 5: Fluxo para adição de novas leituras no sistema.

telas foram criadas para dar suporte às funcionalidades adicionadas, como a tela de gerenciamento de e-mails para notificações.

### 5.3 Testes e Instalação

Para compreender melhor o comportamento da solução e otimizar o processo de instalação, uma série de testes foi conduzida. O leitor RFID utilizado, Intelbras LE 170, possui diversas configurações, incluindo o modo de leitura (contínuo ou por gatilho), a potência do transceptor e o intervalo entre leituras. Os testes em ambiente controlado foram realizados com o objetivo principal de investigar o desempenho da antena para diferentes níveis de potência, mantendo o modo de leitura contínuo e um intervalo fixo de um segundo entre leituras.

No laboratório, a antena foi fixada na altura do solo e perpendicular a ele. A tag RFID foi colada em um objeto plástico para assegurar o alinhamento central com a antena, de forma a favorecer o alcance. O objeto com a etiqueta foi gradualmente afastado da antena até que o sensor não conseguisse mais captar o sinal, registrando assim a distância alcançada. Em seguida, a potência foi aumentada para repetir o processo, continuando até alcançar as limitações físicas do espaço do laboratório.

Este procedimento foi realizado em três cenários distintos:

1. No primeiro cenário, não havia obstáculos diretos entre a *tag* e a antena, mantendo uma linha de visão clara;
2. No segundo cenário, um obstáculo metálico foi introduzido entre a *tag* e a antena para simular condições adversas;
3. No último cenário, a *tag* foi fixada em um notebook que foi armazenado dentro de uma mochila, simulando o uso prático do sistema;

Além dos testes controlados, foram conduzidas avaliações simples para compreender a área de cobertura da antena, especialmente como o sensor reagia a *tags* que não estavam diretamente alinhadas com o foco de leitura.

Para validar a solução somente os testes em ambiente controlado não são suficientes, então testes simulando o uso real do sistema foram realizados. Para essa etapa as antenas foram instaladas de maneira provisória nas duas dependências do Instituto de Computação, próximo a entrada dos prédios. Nessa etapa, foi simulado o processo de entrada e saída do edifício portando um objeto rastreado para cada um dos seguintes casos:

1. *tag* fixada em uma caixa e sempre exposta para a antena;
2. *tag* fixada em uma caixa e com obstáculos. O corpo do portador do objeto sempre foi posicionado entre a *tag* e o sensor;
3. *tag* fixada em uma caixa e completamente obstruída pelo corpo do portador do objeto;
4. *tag* em uma mochila, no bolso mais externo, mas sem linha de visada;

Para validar os casos listados, foi adaptado o uso de Amostragem Sequencial, uma especificidade da Amostragem Múltipla, com a hipótese nula de que o sensor RFID é capaz de ler a *tag* no cenário de testes avaliado. Esse método estatístico consiste em acrescentar a amostra item por item, até se chegar a uma conclusão no sentido de aceitar ou rejeitar a hipótese [25]. Assim, o tamanho da amostra é flexível e definido em função dos resultados obtidos [26], a constatação é feita através de um gráfico que apresenta as fronteiras de decisão, permitindo encerrar os testes assim que um número suficiente de sucessos ou falhas é alcançado. As equações para as retas de fronteira são dadas por 1 e 2 [27].

$$x_a = -h_1 + sn \quad (1)$$

$$x_r = h_2 + sn \quad (2)$$

$$k = \log \left( \frac{p_2(1-p_1)}{p_1(1-p_2)} \right) \quad h_1 = \frac{1}{k} \log \left( \frac{1-\alpha}{\beta} \right)$$

$$s = \frac{1}{k} \log \left( \frac{1-p_1}{1-p_2} \right) \quad h_2 = \frac{1}{k} \log \left( \frac{1-\beta}{\alpha} \right)$$

Estes parâmetros definem a qualidade esperada pelo produtor ( $p_1$ ), a qualidade aceitável pelo consumidor ( $p_2$ ), o risco do produtor ( $\alpha$ ) e o risco do consumidor ( $\beta$ ). Para auxiliar a aplicação dessa técnica, a biblioteca *reliability* [28], para Python, foi empregada, com os seguintes parâmetros:  $p_1=0.05$ ,  $p_2=0.15$ ,  $\alpha=0.10$ ,  $\beta=0.05$ .

Também foi definido um valor mínimo de repetições para cada cenário de testes. Assim, em cada caso o procedimento é repetido 30 vezes ou o suficiente para a amostragem sequencial indicar algum resultado. Por fim, vale ressaltar ainda que os testes foram realizados em ambos os prédios.

Ainda, para o teste de campo, sete *tags* foram distribuídas para frequentadores do Instituto de Computação. Os dispositivos foram fixados em diferentes objetos e o teste foi conduzido ao longo de três semanas, mostrando-se uma boa aproximação para o cenário final da solução.

Por fim, foi testado um novo caso de uso para o *hardware* usado. Para validar se o equipamento disponível também é capaz de auxiliar no processo de inventário do instituto, pequenas adaptações foram feitas e o teste foi conduzido da seguinte forma. Em uma sala de aula do IC foram distribuídas 12 *tags*, fixadas em diferentes objetos como carteiras, mesas, computadores, entre outros. Também foi variada a posição onde a *tag* se encontrava, nas carteiras, por exemplo, foi testada a *tag* posicionada embaixo do tampo, Figura 6, embaixo do assento e nos pés. O tempo de bloqueio de leitura foi aumentado para cinco minutos, uma vez que, para esse caso de uso, uma única leitura é o bastante para assegurar que o item está naquele ambiente. Com as *tags* distribuídas pela sala a antena foi movimentada dentro do ambiente, com o objetivo de verificar se todas as etiquetas seriam encontradas. Adicionalmente, carteiras com etiquetas foram dispostas em um corredor externo à sala, Figura 7, visando validar a precisão do sensor em identificar apenas os itens do ambiente atual.



Figura 6: Tag posicionada abaixo do tampo da carteira para os testes de leitura da antena.

## 6 Resultados e Discussão

### 6.1 Versão Final do Sistema

De modo geral, a aplicação apresentou resultados satisfatórios. O *hardware* foi migrado para os microcontroladores ESP32 e ESP8266, sendo que a versão final faz uso dessa última placa. O circuito apresentado na Figura 4 permitiu o uso do *hardware* de forma independente de um computador, sendo que agora todo o sistema é alimentado por uma única fonte. A montagem final foi armazenada em um compartimento próprio, Figura 8, para trazer mais robustez e segurança aos componentes.



Figura 7: Distribuição da mobília para o testes de leitura da antena para o processo de inventário do Instituto de Computação.

Essa montagem final, com a ESP8266, possibilitou o uso de requisições HTTPS assim como o uso da rede Wi-Fi do IC. Dessa forma, foi viável dar continuidade ao processo de instalação da solução nos prédios do Instituto.

As alterações de *software* também foram fundamentais para os resultados obtidos. A nova arquitetura e os padrões de projeto tornaram o código para os microcontroladores mais robusto e adaptável, simplificando a adição de novos sensores e tecnologias de comunicação. Ainda, o código final também apresenta flexibilidade quanto ao *hardware*, suportando Arduino UNO, ESP32 e ESP8266, sendo que para alternar entre eles basta definir uma única *flag*.

Quanto ao *lock*, considerando o banco de dados usado no projeto (MongoDB), há uma limitação na sua implementação, pois a rotina que faz a exclusão dos documentos expirados no Mongo ocorre uma vez a cada minuto. Ou seja, se o tempo configurado pela aplicação for de  $X$  segundos, na prática o *lock* pode durar de  $X$  segundos, no melhor caso, até  $X + 59$  segundos no pior caso (se o registro for criado exatamente 1 segundo depois da rotina ser executada). Para aplicações que usam um tempo de vida mais longo, isso não seria um problema, porém, para o caso desse projeto é uma limitação importante, uma vez que o tempo de vida será da escala de poucos minutos. A

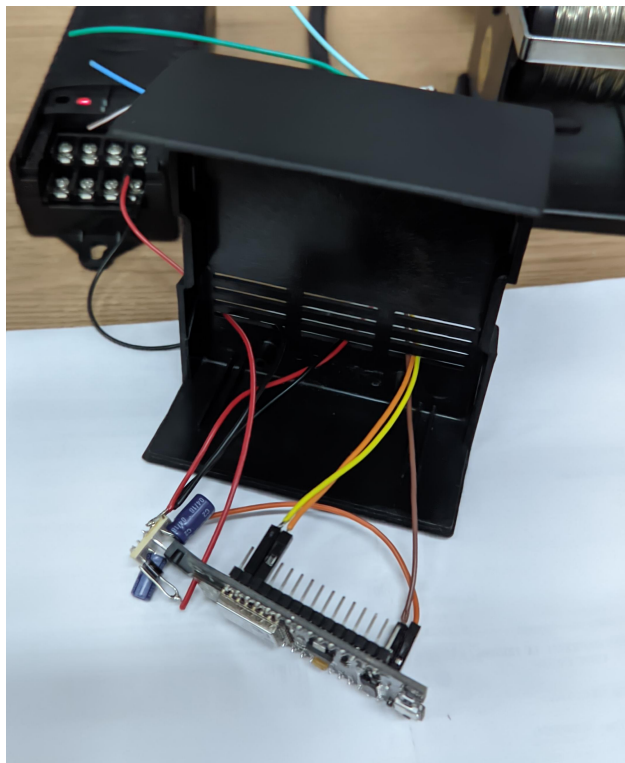


Figura 8: Montagem final do *hardware* armazenada em um compartimento dedicado. Sistema alimentado pela fonte do sensor RFID.

Figura 9 ilustra o comportamento do sistema no pior caso.

Apesar desse problema, o *lock* teve um bom desempenho ao garantir que leituras redundantes não fossem registradas. O tempo de vida utilizado no período em que os sensores ficaram instalados foi de 120 segundos (2 minutos), e aparentemente nenhuma leitura que deveria ser registrada foi perdida. Tal resultado mostra que, desde que essa limitação seja levada em conta ao definir o tempo de vida do *lock*, não é um impeditivo para implementação da solução.

As notificações por e-mail também apresentaram bons resultados. Aglomerar os alertas desde a última notificação se mostrou uma boa estratégia para não poluir a caixa de entrada dos destinatários com e-mails constantes. Além disso, a forma de cadastrar o par item-sensor que deve gerar alertas foi facilitado com o uso de *dropdowns*.

No *front-end*, a mudança na biblioteca de *login* manteve a funcionalidade operando exatamente da mesma forma, porém com todas as vantagens de usar uma biblioteca que ainda conta com suporte da comunidade.

Ademais, todas as melhorias aplicadas no *front-end* tornaram a aplicação mais amigável. Com destaque para o permissionamento, que impede que os usuários alcancem telas que eram apresentadas em branco e causavam confusão, e para tela de gerenciamento de e-mails a serem notificados, dando mais controle e autonomia para os utilizadores da plataforma. Ainda, algumas modificações tornaram o processo mais simples e intuitivo, como a adição dos *dropdowns* já mencionados.

A Figura 10 mostra uma visão geral do sistema ao final do trabalho através de um diagrama de *containers*, a arquitetura geral foi mantida muito parecida com a anterior, com a adição das notificações por e-mail através do servidor SMTP da própria universidade. Já a Figura 11 traz uma visão mais detalhada principalmente do *back-end* do sistema, nela é possível observar todas as



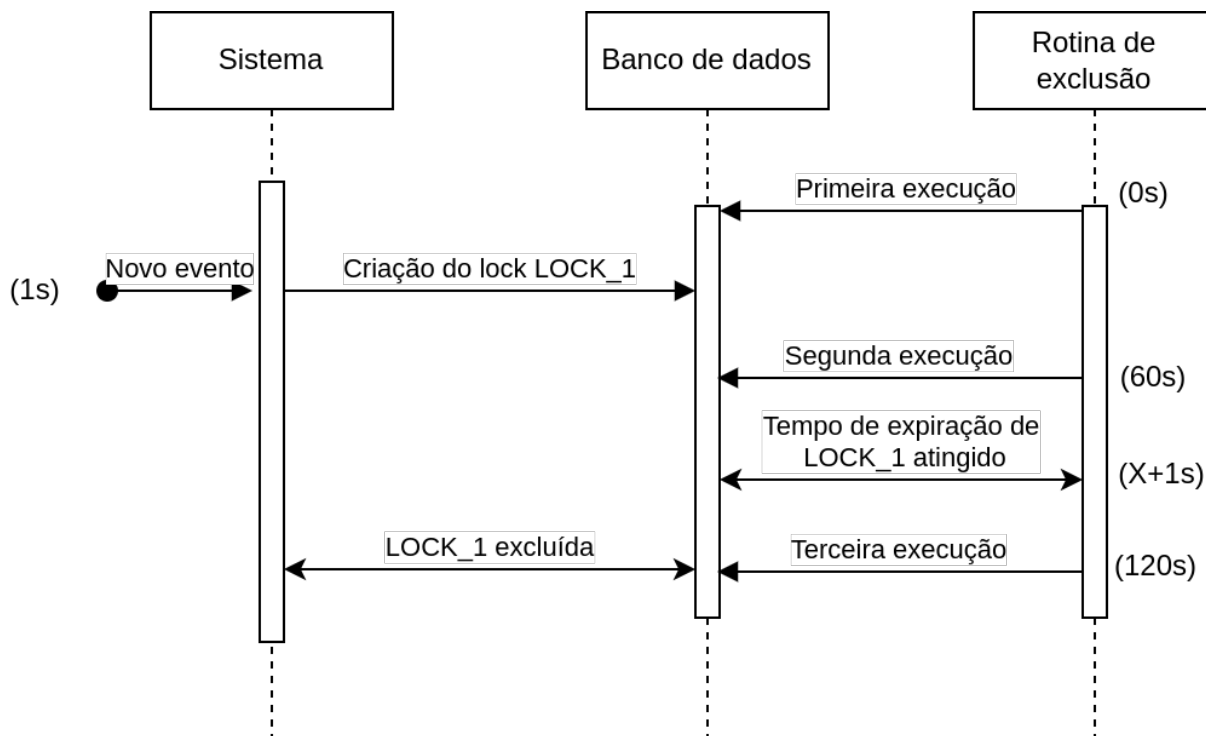


Figura 9: Diagrama de sequência ilustrando a interação do *lock* com a rotina de exclusão do MongoDB no pior caso. No exemplo, X é o valor em segundos configurado de tempo de vida do lock (no caso, entre [60, 118]).

mudanças citadas no relatório. Entre elas: a troca do Arduino pela placa ESP8266, implementação do envio de e-mails, implementação do *lock*, etc.

## 6.2 Testes em Ambiente Controlado

A realização dos testes descritos também se mostrou como uma etapa crucial para o entendimento do sistema e sua aplicação. Os resultados obtidos com os testes em ambiente controlado são apresentados no gráfico da Figura 12.

Dadas as limitações do espaço físico em que os testes foram conduzidos, a faixa de potência testada foi de 0 a 29, sendo que o valor máximo disponível é 30 [15]. Para o cenário com obstáculo, poucos pontos foram coletados, partindo de uma potência de 17 até 28. Cabe também citar que uma elevada incerteza foi estimada para os valores coletados,  $\pm 5\text{cm}$ . Esse valor deriva da inconstância das leituras durante o processo de coleta de médias, por vezes uma única leitura era aferida em determinada distância e era necessário ajustes para obter um sinal constante.

Como pode ser visto, a relação entre a potência e o alcance é irregular, provavelmente por sofrer com interferências de fatores ambientais e efeito de propagação [9]. No entanto, se for admitido um certo erro, pode ser aproximado por uma regressão linear, como mostrado pela linha tracejada no gráfico da Figura 12. A equação obtida para esses dados é  $f(x) = 15.03x + 17.28$ , sendo  $f(x)$  a distância e  $x$  a potência do sensor.

No cenário com o obstáculo metálico, o anteparo bloqueia demasiadamente o sinal, principalmente quando se trata de distâncias menores. Cabendo ressaltar que, na Figura 12, nos primeiros pontos de coleta a potência pode ser diminuída quando a distância foi acrescida. É interessante

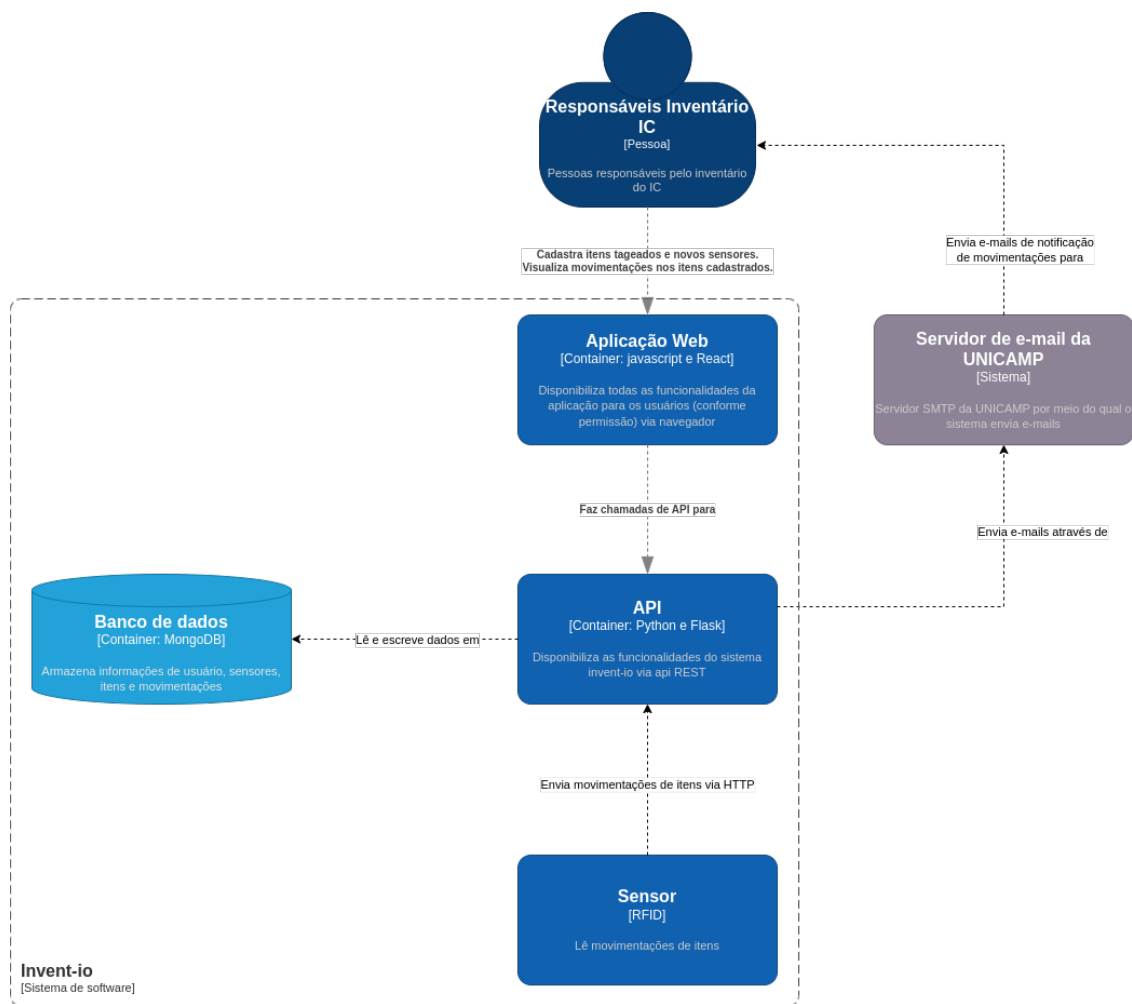


Figura 10: Diagrama de container do sistema InventIo (modelo C4).

perceber que conforme a distância entre a antena e o objeto com a *tag* é ampliada, a presença do obstáculo tem um menor impacto, sendo que, acima de determinada distância as curvas com e sem a presença do obstáculo ficam muito próximas. Provavelmente esse fenômeno ocorre devido a dispersão do sinal no ambiente de maneira a contornar o anteparo.

Ainda sobre as variações no sinal, durante os testes percebemos que até mesmo a movimentação de pessoas no ambiente gerava uma interferência positiva. Isso ocorre devido a reflexão do sinal pelos corpos, o que o possibilita alcançar novas localidades. Esse fenômeno já está em estudo para aplicações próprias [29], e, a princípio, pode ser algo positivo para o caso de uso final da solução.

Para encerrar as observações relacionadas à interferência, é válido ressaltar que o atual projeto não é o primeiro a enfrentar esse comportamento. Frankó, Vida, e Varga [11] citam que interferências causadas por superfícies metálicas é um desafio comum para sistemas de rastreamento internos. Ainda, Kawakita et al. [12] atribuem a atenuação de sinal aos equipamentos eletrônicos transportados juntamente com as *tags* RFID, e chegam a pontuar que até mesmo o smartphone pode gerar dificuldades na leitura a depender da sua posição em relação a *tag*.

Durante os testes também percebemos que em certos casos a antena pode perder algumas leituras, essa descoberta foi de extrema importância para a configuração final do equipamento. Após tomar conhecimento desse comportamento, para o caso de uso final passamos a configuração do

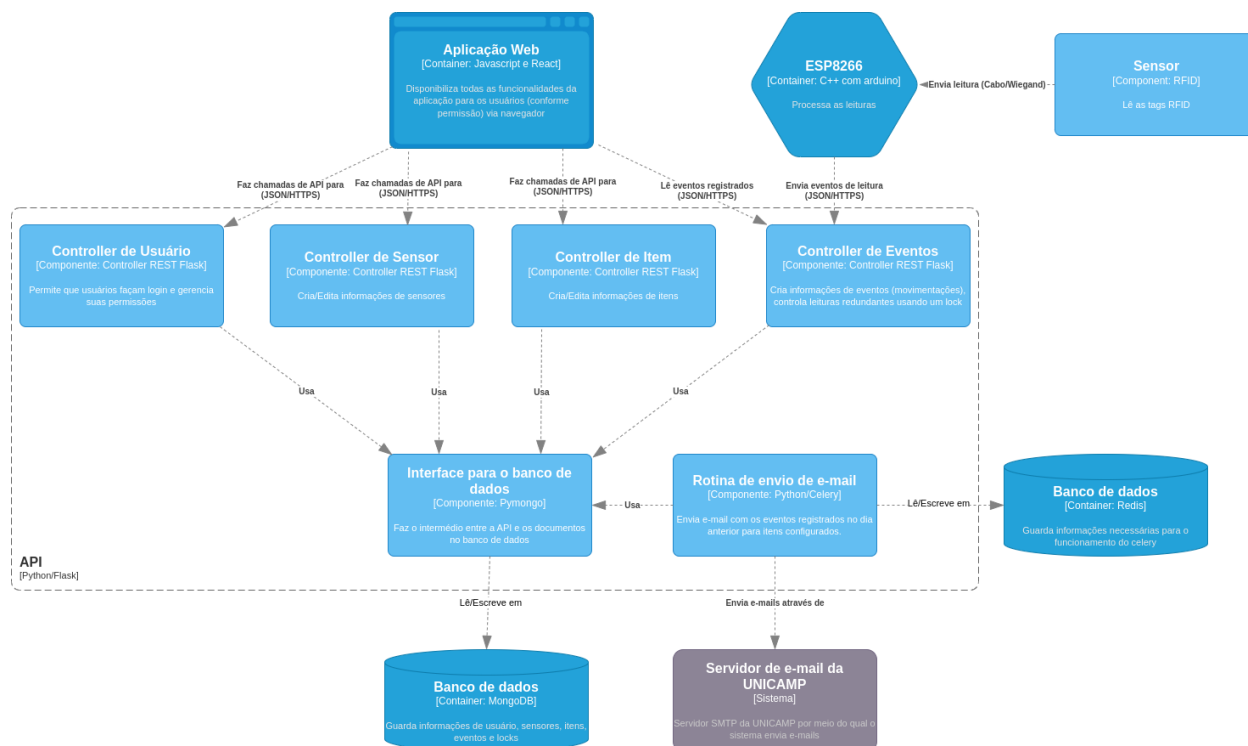


Figura 11: Diagrama de componentes do sistema InventIo (modelo C4).

intervalo entre leituras da antena para um segundo (o menor valor possível), de forma a maximizar a probabilidade de se ler uma etiqueta. O tratamento de múltiplas leituras então foi transmitido integralmente ao *lock* desenvolvido no *back-end* da aplicação.

O último cenário testado em ambiente controlado foi o situação mais extrema e mais próxima a um caso de uso real. Os resultados obtidos com a *tag* fixada em um notebook armazenado dentro de uma mochila não foram adicionados ao gráfico da Figura 12 pois somente dois pontos foram coletados. Para que a *tag* seja detectada dentro da mochila a uma distância de 18 centímetros é necessária uma potência de 20. Sem obstáculos, essa potência consegue alcançar mais de três metros. Ajustando a potência para o maior valor disponível, 30, a mochila contendo o notebook deve estar a no máximo 74 centímetros do sensor para a *tag* ser captada. Apesar de ser um dos piores cenários, provavelmente esse será um dos mais comuns no uso cotidiano, muitos objetos de interesse são pequenos e prováveis de serem transportados em mochila.

Ainda sobre a cobertura da antena, observações menos sistemáticas nos levaram a concluir que mesmo que o manual indique que a antena possui uma cobertura de até  $60^\circ$  [15], o alcance nas bordas é limitado. Com os objetos alinhados com o centro da antena o alcance é maior, conforme os itens são deslocados para laterais o alcance decai significativamente.

### 6.3 Instalação do MVP

Todo o conhecimento proveniente dos testes foi fundamental para possibilitar cumprir um dos principais objetivos do projeto, a instalação do equipamento nas dependências do Instituto de Computação. No prédio 1 a antena foi instalada de maneira provisória, escorada no balcão da recepção e direcionada para a única porta existente, Figura 13 à esquerda. Essa instalação simples facilitou remover o sensor e utilizá-lo em outros testes no decorrer do projeto. Já no prédio 3, o

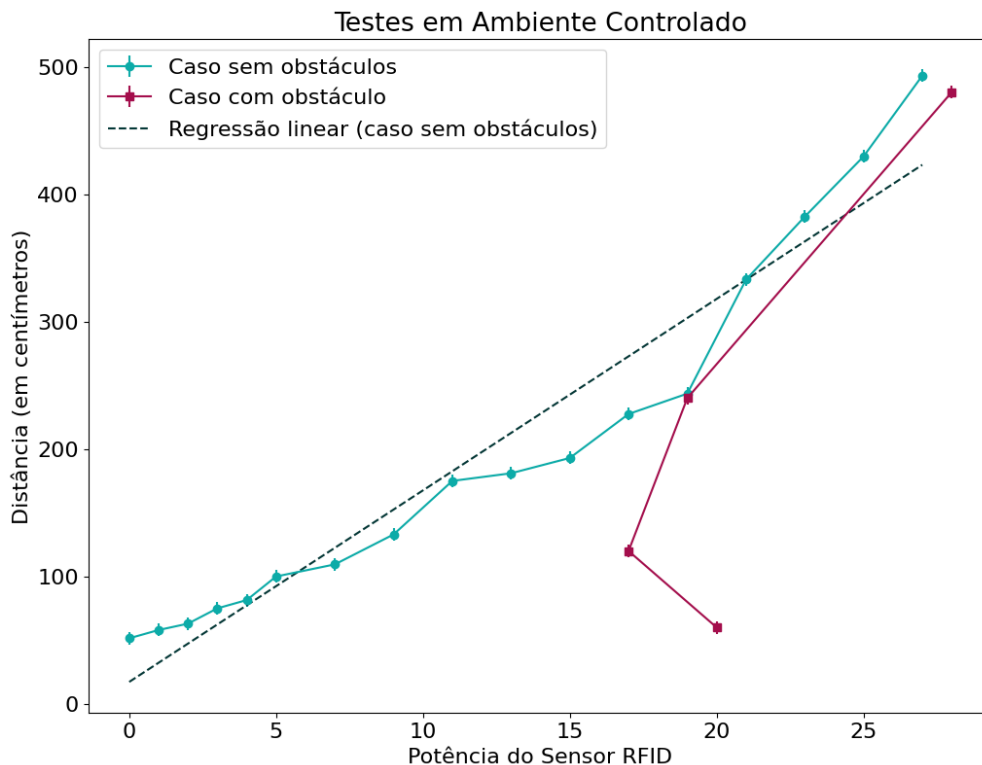


Figura 12: Gráfico com os resultados dos testes controlados realizados com o sensor Intelbras LE 170.

sensor foi montado de maneira mais robusta, sendo fixada em um ponto alto e direcionada a uma das entradas existentes no edifício, como na Figura 13 à direita.

Neste momento, é pertinente discutir o custo envolvido na montagem do *hardware* instalado. O microcontrolador ESP8266 é facilmente encontrado por cerca de R\$30,00, enquanto o circuito regulador de tensão pode ser construído por menos de R\$10,00. Outros itens como fios, conectores e a caixa plástica foram estimados em R\$20,00. No entanto, esses custos se tornam insignificantes quando comparados ao valor do sensor RFID utilizado; atualmente, o LE 170 da Intelbras é comercializado por mais de três mil reais. As *tags*, modelo Intelbras TH 3010, são encontradas por aproximadamente R\$5,00, o que torna a solução escalável em termos de número de objetos rastreados.

Além disso, é importante considerar o consumo energético da solução. Supondo, exageradamente, que toda a potência da fonte seja utilizada, 36W (12 Volts x 3 Amperes), e levando em conta que o sistema permanecerá ligado continuamente, totalizando 730 horas por mês, o consumo será de 26,28 kWh. Com um custo médio de R\$0,656 por kWh [30], o custo mensal estimado para manter o sensor em funcionamento junto com o microcontrolador é de no máximo R\$17,24.

## 6.4 Testes Simulando Uso

Com as antenas posicionadas, os testes simulando o uso real do sistema foram realizados. No primeiro caso, *tag* fixada em uma caixa e sempre exposta para a antena, em todas as trinta repetições a etiqueta foi detectada em ambos os prédios. Para o segundo caso, *tag* fixada em uma caixa e com obstáculos, a taxa de leitura também foi de 100% para os dois ambientes. O gráfico com os dados



Figura 13: À esquerda, sensor instalado nas dependências do prédio 1 do Instituto de Computação. À direita, sensor instalado nas dependências do prédio 3 do Instituto de Computação.

da Amostragem Sequencial para esses dois cenários é o mesmo, Figura 14 à esquerda.

Observamos que no terceiro caso, *tag* totalmente obstruída pelo corpo do portador do objeto, nenhuma leitura foi captada. Partindo desse resultado outro teste mais simples foi realizado. A *tag* foi fixada em uma caixa e totalmente coberta usando a mão, nesse caso somente a distâncias extremamente próximas à antena alguma leitura foi registrada. Ainda, a *tag* foi progressivamente exposta, e percebemos que a presença da etiqueta era captada quando, aproximadamente, um terço de sua área estava descoberta.

Por fim, o último caso de teste foi executado. Com a *tag* armazenada no compartimento mais externo de uma mochila a taxa de leitura no prédio 1 foi de 100%, enquanto que a taxa de leitura no prédio 3 foi de 97,4%, das 38 execuções somente uma leitura foi perdida. Segunda a Amostragem Sequencial, Figura 14 à direita, esse resultado é o bastante para ter confiabilidade na solução. Vale destacar que para esse caso percebemos que a leitura era captada sempre que a mochila estava diretamente alinhada com a antena.

De maneira geral, esse é um resultado satisfatório, comparado com o teste de campo realizado por Grier, Marchini e Zimmerman [1] em um cenário de carga e descarga de caminhões, com o uso de sensores auxiliares, o melhor resultado obtido por eles foi uma taxa de leitura de 88%. Enquanto Kawakita et al. [12] obtiveram uma taxa média de leitura de 96,8% ao aplicar RFID para gerenciar os participantes de um evento de grande porte.

Apesar do bom resultado, o cenário desse teste é um caso de uso ideal, com a *tag* solitária em um bolso externo. Pelos experimentos realizados em laboratório é conhecido que ao adicionar a etiqueta em algum compartimento mais interno o resultado deve decair significativamente. Ainda, até mesmo os itens transportados na mochila exercem grande influência sobre a leitura do dispositivo.

## 6.5 Testes de Campo

Partindo agora para os testes de campo, com as etiquetas distribuídas para frequentadores dos ambientes em que os sensores estão situados. Os resultados obtidos pela antena instalada no prédio

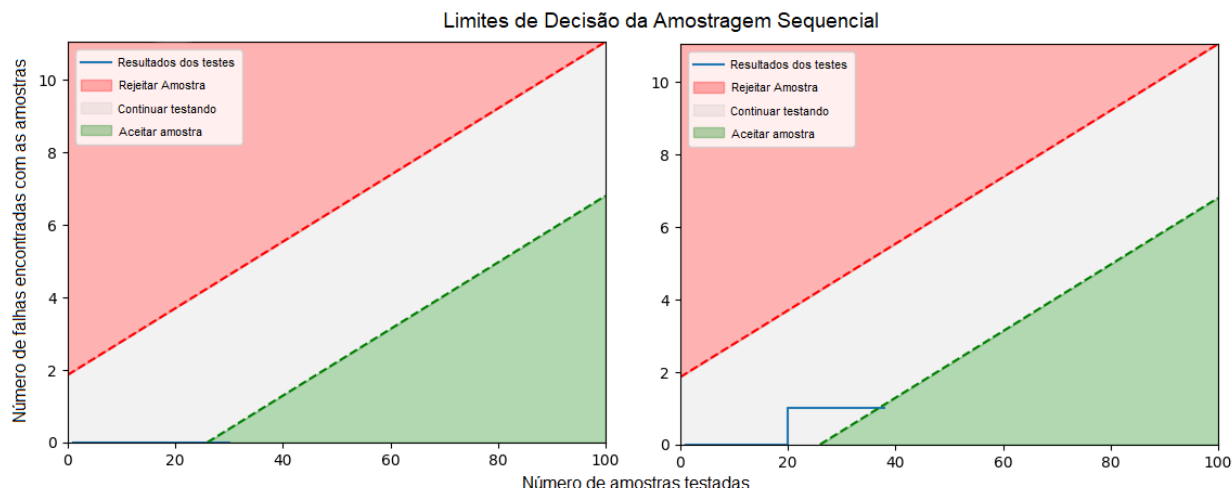


Figura 14: Gráficos da amostragem sequencial. À esquerda, cenário com 100% de leitura. À direita, cenário com uma leitura perdida.

3 são pouco significativos uma vez que somente uma entrada foi coberta. Assim, é difícil determinar se realmente houve perda de leituras ou se os portadores das etiquetas simplesmente fizeram uso da outra porta disponível. Ainda sobre esse dispositivo, percebemos uma grande quantidade de leituras com um curto intervalo de tempo, isso é um indicativo de que a movimentação interna está sendo registrada. Para um uso final, um reposicionamento do sensor, ou mesmo ajustes na configuração, pode levar a resultados mais consistentes.

Os dados coletados pelo sensor instalado no prédio 1 são mais confiáveis, uma vez que ele está disposto na única porta de acesso ao edifício. Desse modo, espera-se sempre observar um par de leituras, entrada e saída. Do total de 31 registros, 13 foram unitários, o que permite estimar que 29,5% das leituras foram perdidas. Apesar de mais confiável, esse resultado também está sujeito a equívocos, uma vez que o item o qual a *tag* está fixada pode ter sido esquecido no estabelecimento, gerando a ideia de uma falha de leitura.

Ainda, com base nos horários dos registros, é possível deduzir que para certos portadores, aparentemente a entrada é mais facilmente detectada que a saída, enquanto que para outros a saída foi detectada com maior facilidade. Provavelmente esse fenômeno provém da forma que a *tag* foi fixada, retornando novamente a grande sensibilidade ambiental do sistema.

### 6.6 Testes do Hardware no Processo de Inventário

Por fim, os testes para validar o uso do equipamento para realizar o processo de inventário do instituto se mostraram promissores. Ao posicionar as tags nos tampos, Figura 6, ou nos assentos das carteiras, todas foram identificadas corretamente ao mover a antena no centro da sala, do fundo para a frente e vice-versa. No entanto, ao fixar as etiquetas nos pés das carteiras, feitos de metal, nenhum item foi identificado. Esse comportamento era esperado devido ao uso de RFID UHF, cujas altas frequências são suscetíveis a interferências de objetos metálicos [31], o mesmo comportamento foi relatado por Pontikis e Kefallinos [7].

Também foram realizados testes com outros itens comumente encontrados em salas de aula. O comportamento observado é semelhante ao anterior. Tags fixadas em itens como teclado, projetor, monitor e mesas foram facilmente identificadas. Para outros itens como caixas de som, controle remoto e microfone, foi necessário uma maior aproximação do sensor para obter alguma leitura.

Ainda, itens como CPU e mesa de som não foram identificados, não coincidentemente, nesses itens a etiqueta foi fixada em uma superfície metálica.

Durante os experimentos também foi validada uma forma de contornar essa atenuação de sinal. Para objetos de metal a etiqueta não deve ser diretamente fixada na superfície, a presença de algum material não condutor entre a *tag* e o metal já possibilita sua leitura. Assim, após adicionar uma camada de plástico entre a etiqueta e a superfície metálica foi possível ler as tags fixadas na CPU e na mesa de som, ainda que com uma grande proximidade entre a antena e os itens.

Por fim, foi testado se o sinal da antena consegue alcançar itens externos ao ambiente atual, como na Figura 7. Foi repetido o mesmo percurso dos testes anteriores, todos os itens no interior da sala foram captados e alguns do exterior também foram reconhecidos. Apesar desse resultado, acreditamos que mais testes são necessários para compreender melhor esse comportamento e contorná-lo.

## 7 Conclusão e Trabalhos Futuros

Dada toda a exploração, melhorias e testes realizados pode-se concluir que a plataforma InventIo tem potencial para auxiliar no gerenciamento dos itens do Instituto de Computação da Unicamp, no entanto, a mesma apresenta limitações que podem inviabilizar seu uso.

Apesar da limitação física nos testes realizados em laboratório, os resultados obtidos já foram suficientes para ratificar as restrições da solução quanto a obstáculos metálicos e itens armazenados em mochilas. Nos testes seguintes foi confirmado essa sensibilidade do sistema aos fatores ambientais, o que reduz os casos de uso da aplicação e levanta atenção para a instalação do equipamento.

Partindo das observações relatadas, o melhor lugar para posicionar o sensor é imediatamente acima do local de interesse, no caso, as portas dos prédios, e com a antena direcionada para baixo. Como o sinal é mais ameno nas bordas, essa posição colabora para que movimentações internas, próximas as portas, não sejam captadas.

Com base nos experimentos realizados, as etiquetas testadas não devem ser usadas diretamente em superfícies metálicas. Itens que são, previsivelmente, transportados em mochilas também devem sofrer com interferências e não são o caso de uso recomendado da aplicação. Para itens os quais a *tag* pode ser fixada de forma exposta, deve-se evitar regiões as quais a etiqueta possa ser obstruída durante o transporte. Assim, como ressaltado por Oztekin et al. [3], o posicionamento das etiquetas deve favorecer sua linha de visada com os sensores.

A soma de todas essas restrições pode limitar demasiadamente o uso do sistema, ou mesmo restringi-lo a itens que não são críticos o suficiente para necessitar de tal monitoramento. Ainda, apesar do custo de escalabilidade do sistema ser baixo para monitorar novos objetos, assim como na solução apresentada por Frankó, Vida, e Varga [11], o custo para expandir o número de sensores pode ser outro fator proibitivo para uma implementação final da solução.

Nesse sentido, estudos e testes de novos sensores podem ser uma abordagem interessante para contornar as restrições encontradas. Em especial, testes ainda com RFID mas com tags ativas se mostram interessantes uma vez que essa tecnologia foi aplicada por algumas soluções semelhantes. Segundo Frankó, Vida, e Varga [11] o alcance de UHF-RFID está entre 1 e 10 metros enquanto que o uso de *tags* ativas pode levar essa cobertura para 100 metros. Além disso, o sistema ativo pode agregar mais segurança à aplicação, dado a maior capacidade computacional das tags [32].

Ainda, outros sensores podem ser combinados para possibilitar um melhor entendimento do ambiente, como feito por Grier, Marchini e Zimmerman [1]. Essa abordagem até mesmo pode remover a obrigatoriedade de usar o sensor RFID em modo de leitura constante. Assim, sensores de movimento podem ser incorporados como gatilho para ativar o leitor RFID somente quando

necessário, auxiliando na eficácia energética da aplicação.

Com base nas soluções apresentadas por [9], [8] e [11], os quais fazem uso o RSSI para determinar a distância entre a *tag* e o leitor, essa informação pode ser agregada ao sistema. Ainda, em um cenário onde várias leituras são captadas, com o uso de algoritmos de Aprendizado de Máquina, é provável que seja possível estimar o sentido da movimentação a partir do comportamento dos valores de RSSI captados. Técnicas de Inteligência Artificial também podem ser empregadas para determinar os melhores pontos de instalação de sensores, como proposto por Oztekin et al. [3].

Ainda, o *lock* implementado nessa etapa pode ser aprimorado. Atualmente existe somente um *lock* global, que determina o mesmo tempo de espera para todos os sensores que compõem a aplicação. Dado o comportamento promissor dessa solução, pode ser interessante adicionar um valor customizado para cada sensor, visando amenizar as variações ambientais que diferentes sensores podem sofrer. Além disso, o problema relacionado a rotina de exclusão do MongoDB pode ser resolvido utilizando o Redis já configurado no projeto, uma vez que o mesmo possui um intervalo consideravelmente menor em sua rotina de exclusão de chaves expiradas. Ademais, o Redis conta com um mecanismo de expiração passiva, que deleta um item expirado se ele for acessado, impossibilitando que a *lock* perpetue mais que o tempo configurado.

Por fim, a flexibilização do *hardware* usado permite que novos recursos sejam explorados. Hoje o horário atribuído à movimentação corresponde ao instante em que os dados chegam ao servidor. Isso pode ser aprimorado, sendo que os módulos ESP disponibilizam acesso ao seu relógio interno (RTC - *Real Time Clock*), assim, o instante em que a etiqueta é detectada pode ser registrado pelo próprio microcontrolador, como feito em [10] e [1]. Essa melhoria ainda abre caminho para mais um grande avanço em termos de resiliência, uma vez que o próprio microcontrolador seja capaz de atribuir o horário é possível manter um *buffer* de leituras. Esse armazenamento é interessante para cenários de perda de conexão, de forma que a informação registrada pode ser enviada para o servidor em um momento futuro, após restabelecer a rede.

Mesmo com as limitações relatadas, os objetivos enumerados foram alcançados. Partes cruciais da implementação original sofreram manutenção de forma que as melhorias aplicadas nesta etapa do projeto foram de fundamental importância para seu progresso. A aplicação do *lock* agregou mais robustez e confiabilidade nos dados coletados assim como as notificações por e-mail cumpriram seu papel de manter os usuários cientes das informações do sistema.

Os estudos realizados permitiram um melhor entendimento da tecnologia RFID, em especial, os experimentos executados geraram uma importante base de conhecimento a respeito do comportamento da tecnologia. Ainda, o suporte a novos *hardwares* possibilitou a instalação da solução nas dependências do Instituto de Computação e se mostrou como solução para alguns dos desafios apresentados.

Por fim, o uso do equipamento disponível para auxiliar no processo de inventário patrimonial do instituto se mostrou promissor. A maioria dos itens de interesse são facilmente detectados pelo sensor e existem meios de possibilitar a leitura de itens metálicos. Apesar de etiquetas externas ao ambiente de teste terem sido captadas, acreditamos que mais testes são válidos para obter uma configuração ideal para esse cenário de uso. Caso o comportamento persista, pode-se estudar a aplicação de barreiras de sinal, com o objetivo de isolar o ambiente momentaneamente e possibilitar o uso do sistema para esse fim.

Desse modo, mesmo com as atuais limitações da aplicação, as descobertas e melhorias realizadas nessa etapa do projeto se mostraram de suma importância para a evolução da solução e entendimento do seu uso. Ainda, os novos trabalhos sugeridos visam remover as restrições reveladas e possibilitar um uso mais abrangente do sistema. Por fim, os testes realizados abrem caminho para a utilização da infraestrutura existente em uma aplicação completamente nova e que visa automatizar um processo que atualmente é ineficiente.



## 8 Agradecimentos

Primeiramente, gostaríamos de agradecer aos ex-alunos Adivair Santana Ramos, Fabio Stori, Felipe Duarte Domingues e Gabriel Francioli Alves por iniciarem este projeto e confiarem em nós para continuá-lo. Ainda, agradecemos ao Elias Borges de Athayde Drummond, Coordenador Administrativo do Instituto de Computação da Unicamp, por todo entusiasmo e apoio a essa iniciativa. Deixamos nosso obrigado também à equipe do suporte do IC, por sempre serem solícitos e fornecer toda a infraestrutura necessária para o funcionamento da aplicação. Por fim, expressamos nossa imensa gratidão à Prof.a Dra. Juliana Freitag Borin por todo suporte e orientação ao longo de todo o projeto.

## Referências

- [1] Steven Grier, Michael F. Marchini, and Jeffrey Zimmerman. Rfid asset tracking system. *Faculty of Electrical, Computer, and Software Engineering Penn State Erie, The Behrend College*, 2007.
- [2] Emerson Alecrim. Correios anunciam RFID para rastreamento de entregas em tempo real. <https://tecnoblog.net/noticias/correios-rfid-radiofrequencia-rastreamento-tempo-real-entregas/>, jul 2021. Acesso em 20 de Junho de 2024.
- [3] Asil Oztekin, Foad M. Pajouh, Dursun Delen, and Leva K. Swim. An rfid network design methodology for asset tracking in healthcare. *Decision Support Systems*, 49(1):100–109, 2010.
- [4] Anna Baisi. Hospital albert einstein tem redução de perdas com uso do RFID. <https://www.mobiletime.com.br/noticias/21/09/2023/hospital-albert-einstein-tem-reducao-de-perdas-com-uso-do-rfid/>, sep 2023. Acesso em 20 de Junho de 2024.
- [5] Toni Perkins-Southam. What is a contactless credit card? <https://www.forbes.com/advisor/credit-cards/contactless-credit-cards/>, jan 2022. Acesso em 20 de Junho de 2024.
- [6] Rfid market size, share, statistics and industry growth analysis report by offering (tags, readers, software & services), tag type (active, passive), wafer size, frequency (low frequency, high frequency, ultra-high frequency), form factor, material, application and region - global forecast to 2032. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/rfid-market-446.html#:~:text=The%20RFID%20market%20is%20potent,at%20a%20CAGR%20of%2011.1%25,> 2023. Acesso em 20 de Junho de 2024.
- [7] N.S. Kefallinos I. Pontikis. A fully automated asset-tracking rfid system. *THE 11th STUDENT SYMPOSIUM ON MECHANICAL AND MANUFACTURING ENGINEERING*, 2023.
- [8] Igor Bisio, Andrea Sciarrone, and Sandro Zappatore. A new asset tracking architecture integrating rfid, bluetooth low energy tags and ad hoc smartphone applications. *Pervasive and Mobile Computing*, 31:79–93, 2016.
- [9] Evizal Evizal, Tharek Abdul Rahman, and Sharul Kamal Abdul Rahim. Active RFID technology for asset tracking and management system. *TELKOMNIKA*, 11(1), 2013.

- [10] Abdul Malik Shaari and Nur Safwati Mohd Nor. Position and orientation detection of stored object using RFID tags. *Procedia Eng.*, 184:708–715, 2017.
- [11] Attila Frankó, Gergely Vida, and Pal Varga. Reliable identification schemes for asset and production tracking in industry 4.0. *Sensors*, 20:3709, 07 2020.
- [12] Yuusuke KAWAKITA, Osamu NAKAMURA, Yojiro UO, and Jun MURAI. Use of rfid at large-scale events. *IATSS Research*, 29(1):31–39, 2005.
- [13] Adivair Santana Ramos, Fabio Stori, and Vinicius da Silva. Relatório final - estudo dirigido, 2022.
- [14] Alessandro de Souza Oliveira and Milene Franco Pereira. Estudo da tecnologia de identificação por radiofrequência - rfid. *UNIVERSIDADE DE BRASILIA - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Elétric*, 2006.
- [15] Intelbras. *Manual do usuário LE 170*. Intelbras S/A – Indústria de Telecomunicação Eletrônica Brasileira.
- [16] [SOLVED] using ethernet R3 shield to access https site. <https://forum.arduino.cc/t/solved-using-ethernet-r3-shield-to-access-https-site/693172/2>, jan 2021. Acesso em 24 de Março de 2024.
- [17] Arduino how to POST a request to a HTTPS with ArduinoHttpClient. <https://stackoverflow.com/questions/66863607/arduino-how-to-post-a-request-to-a-https-with-arduinohttpclient>. Acesso em 24 de Março de 2024.
- [18] Espressif Systems. *ESP32 WROOM 32 Datasheet*. Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd. Acesso em 28 de Março de 2024.
- [19] Espressif Systems. *ESP8266EX Datasheet*. Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd. Acesso em 28 de Março de 2024.
- [20] Platformio ide. PlatformIO IDE. <https://platformio.org/platformio-ide>. Acesso em 15 de Maio de 2024.
- [21] Strategy. Refactoring Guru. <https://refactoring.guru/pt-br/design-patterns/strategy>. Acesso em 15 de Maio de 2024.
- [22] Celery - distributed task queue. Celery - Documentation <https://docs.celeryq.dev/en/stable/>. Acesso em 22 de Maio de 2024.
- [23] react-google-login. NPM - react-google-login <https://www.npmjs.com/package/react-google-login>. Acesso em 23 de Março de 2024.
- [24] React oauth2 — google. NPM - React OAuth2 — Google <https://www.npmjs.com/package/@react-oauth/google>. Acesso em 24 de Março de 2024.
- [25] Eric Batista Ferreira Cássia de Souza Santos and Roberta Bessa Veloso Silva. A amostragem sequencial e sua aplicação à entomologia e à análise sensorial. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 5, N. 1, 2017.*, 2017.

- [26] Edilson Batista de Oliveira Susete do Rocio Chiarello Penteado and Edson Tadeu Iede. Aplicação da amostragem sequencial para monitoramento dos níveis de ataque de sirenio nocivo em povoamentos de pinus taeda. *Colombo: Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 2002.
- [27] NIST/SEMATECH. *NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods*. National Institute of Standards and Technology (NIST), 2012. Acesso em 20 de Junho de 2024.
- [28] Reliability. Reliability - A Python library for reliability engineering <https://reliability.readthedocs.io/en/stable/index.html#>. Acesso em 8 de Junho de 2024.
- [29] Yanwen Wang and Yuanqing Zheng. Modeling rfid signal reflection for contact-free activity recognition. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, 2(4), dec 2018.
- [30] Quanto custa 1 kwh em reais 2023/2024. E4 Energias Renovaveis <https://grupoe4.com.br>. Acesso em 20 de Junho de 2024.
- [31] Sudan Khartoum. Rfid & iot - adoption for smart cities. ITU-SUDACAD Regional Forum - IoT for Development of Smart Sustainable Cities [https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/ArabStates/Documents/events/2017/IoTSMW/Presentations-IoT/Session7/IoT4SSC\\_Session\\_7\\_Benjillali.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/ArabStates/Documents/events/2017/IoTSMW/Presentations-IoT/Session7/IoT4SSC_Session_7_Benjillali.pdf), 2017. Acesso em 20 de Junho de 2024.
- [32] Tércio Alberto dos Santos Filho Rogéria Oliani, Alexandre César R. da Silva. Uma abordagem sobre segurança em sistemas rfid. *Universidade Estadual Paulista - Departamento de Engenharia Elétrica and Universidade Federal de Goiás - Departamento de Ciência da Computação*, 2014.