IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE RASTREABILIDADE DE EQUIPAMENTOS BIOMÉDICOS UTILIZANDO TECNOLOGIA RFID

IMPLEMENTATION OF A BIOMEDICAL EQUIPMENT TRACEABILITY SYSTEM USING RFID TECHNOLOGY

FELIPE FERREIRA DA SILVA

MÁRCIA ITO
CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

WALDEMAR BONVENTI JR.
CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

Comunicação:
O XIV SINGEP foi realizado em conjunto com a 14th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com a SPARK (Society for Promoting Academic Research and Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE RASTREABILIDADE DE EQUIPAMENTOS BIOMÉDICOS UTILIZANDO TECNOLOGIA RFID

Objetivo do estudo
Apresentar a implementação de um sistema de monitoramento em tempo real para evitar o extravio dos equipamentos hospitalares e reduzir o tempo na procura de equipamentos biomédicos hospitalares, que estão distribuídos pelo hospital ou pela clínica, ou ainda afastados para manutenção.

Relevância/originalidade
A implementação do sistema RFID é eficaz para modernizar a gestão hospitalar, contribuindo para a segurança, eficiência e qualidade dos serviços de saúde. A análise de custo-benefício demonstrou que o retorno pode ser alcançado em menos de dois anos.

Metodologia/abordagem
Para a implementação foi utilizada a metodologia de gestão de projetos 5W2H. Para a construção do modelo, foram consideradas as características específicas do hospital. Foi elaborado um cronograma e gerado um fluxograma de procedimentos.

Principais resultados
Redução de até 30% nas perdas e extravios de equipamentos e ganho de mais de 40% no tempo de localização de ativos críticos, com retorno do investimento em cerca de 12 a 18 meses. Sistema continua em implantação.

Contribuições teóricas/metodológicas
Aplicação da metodologia 5W2H na implementação de um sistema RFID em hospitais para reduzir o extravio de equipamentos portáteis e o tempo em sua localização.

Contribuições sociais/para a gestão
Criação de fluxograma de procedimentos para localizar e registrar os equipamentos portáteis. Redução de mais de 99% no tempo de busca. Redução de até 30% nos extravios de equipamentos e ganho de mais de 40% no tempo de localização.

Palavras-chave: Gestão hospitalar, tecnologia RFID, localização de equipamentos

IMPLEMENTATION OF A BIOMEDICAL EQUIPMENT TRACEABILITY SYSTEM USING RFID TECHNOLOGY

Study purpose
To present the implementation of a real-time monitoring system designed to prevent the loss of hospital equipment and reduce the time spent locating biomedical equipment—whether distributed throughout the hospital or clinic or removed for maintenance.

Relevance / originality
Implementing an RFID system effectively modernizes hospital management, contributing to safety, efficiency, and the quality of healthcare services. A cost-benefit analysis demonstrated that a return on investment can be achieved in less than two years.

Methodology / approach
The 5W2H project management methodology was used for the implementation. The specific hospital's features were considered when building the model. A schedule was created, and a procedural flowchart was developed.

Main results
Reduction of up to 30% in equipment loss and misplacement, and a gain of over 40% in the time required to locate critical assets, with a return on investment within approximately 12 to 18 months. The system is continuously implemented.

Theoretical / methodological contributions
Application of the 5W2H methodology to implement an RFID system in hospitals to reduce the loss of portable equipment and the time required to locate it.

Social / management contributions
Creation of a procedural flowchart for locating and logging portable equipment. Over 99% reduction in search time. Up to 30% reduction in equipment loss and a gain of over 40% in location time.

Keywords: Hospital management, RFID technology, equipment tracking

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE RASTREABILIDADE DE EQUIPAMENTOS BIOMÉDICOS UTILIZANDO TECNOLOGIA RFID

1 Introdução

A rastreabilidade de equipamentos é um assunto importante em variados setores, especialmente na indústria, na logística, na área da saúde (hospitais, clínicas) e outros. A implementação de inovações para o acompanhamento preciso e em tempo real de equipamentos e acessórios em hospitais se tornou crucial, implicando no aumento da eficiência operacional, com redução de custos e garantindo a segurança dos pacientes.

Nesse contexto, a utilização de sistemas baseados em RFID (*Radio Frequency Identification*) pode prover maior previsibilidade às empresas, trazendo benefícios, como melhorar a previsão sobre os níveis de estoque, reabastecimento imediato nas prateleiras, redução da quantidade de itens em estoque e maior transparência na informação (Barsotti et al., 2020). Além disso, no setor hospitalar, equipamentos móveis, como bombas de infusão, monitores multiparamétricos nos leitos, oxímetro de pulso, ventilador mecânico, desfibrilador, termômetro infravermelho, cadeira de rodas, carro ou estojo de curativos, somente para citar alguns, requerem localização imediata e sobretudo, indicação de estarem em uso, em estoque ou em manutenção. (Pinheiro et al. 2024).

Os equipamentos RFID são geralmente compostos por três componentes, uma antena, um *transceiver* (transmissor/receptor – responsável por gerar os sinais de rádio para a comunicação) e um *transponder* (comumente chamado de *tag RFID* – composto por uma antena e um *microchip*, onde são armazenados os seus dados) (Liu, 2024).

Estudos apontam que até 20 % dos equipamentos hospitalares podem ser perdidos e extraviados anualmente, gerando altos custos com substituições e manutenção. Além disso, grande parte do tempo dos profissionais técnicos é consumida. Diante desse cenário, a tecnologia RFID contribui para a redução de tempo, para a economia e para o aumento da produtividade das equipes. Este trabalho contribui para evidenciar os benefícios da implementação e solução de rastreabilidade no setor da Saúde (Byers, 2011) (Fisher, 2012).

Assim, o objetivo principal deste relato é apresentar a implementação de um sistema de monitoramento em tempo real para evitar o extravio dos equipamentos hospitalares e reduzir o tempo na procura de equipamentos biomédicos hospitalares, que estão distribuídos pelo hospital ou pela clínica, ou ainda afastados para manutenção.

Como objetivos específicos, são relatados o planejamento da implementação utilizando a metodologia 5W2H, a proposta de um cronograma de implementação e um fluxograma de procedimentos para localizar e registrar os equipamentos portáteis.

Na Seção 2 deste texto, apresenta-se o referencial teórico a respeito da tecnologia utilizada; na Seção 3, os materiais e metodologia empregada; na Seção 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos; e na Seção 5 as considerações finais sobre este trabalho.

2 Fundamentação teórica

Nesta seção, são apresentados os fundamentos da tecnologia RFID, as normas técnicas do seu uso e o contexto hospitalar onde se insere este projeto.

2.1 Histórico da tecnologia RFID

No século XIX, a descoberta da energia eletromagnética por Michael Faraday introduziu as bases para a comunicação sem fio. James Clerk Maxwell e Heinrich Hertz solidificaram essas bases ao comprovarem a teoria das ondas de rádio de Maxwell. Em 1948, Harry Stockman aperfeiçoou a ideia de usar a potência energética transmitida na comunicação. A partir dos anos 50, laboratórios começaram a desenvolver os dispositivos de rádio e suas aplicações. Nos anos 70 vieram os primeiros testes em grande escala e o registro

de patentes, como a etiqueta ativa de Mario Cardullo e o *transponder* passivo de Charles Walton, um empreendedor da Califórnia, recebeu a patente para um sistema passivo, o qual era usado para destravar portas sem a ajuda de chaves. (Queiroz et al., 2014)

Nos anos 90, regulamentações facilitaram a adoção do RFID em várias empresas. Já no começo dos anos 2000, a tecnologia estava presente em muitas áreas do cotidiano, em indústrias e no comércio. Em 2009, o Brasil lançou o "Brasil-ID" para unificar a identificação e o rastreamento de produtos com RFID. (Melara, 2011).

2.2 Conceitos de RFID

A RFID (Identificação por Radiofrequência) é uma tecnologia que utiliza sinais de rádio para transmitir dados, de um dispositivo móvel para um leitor. Possuem uma antena e um *chip* (em uma *tag* – etiqueta), ambos encapsulados em materiais como vidro ou plástico, respondendo a sinais enviados por um leitor conectado a um computador. O dispositivo de leitura emite um campo eletromagnético para alimentar o *transponder*, que em resposta envia o conteúdo de sua memória de volta ao dispositivo de leitura. Os dados das etiquetas são então transferidos para o computador, onde serão processados de acordo com a aplicação programada. Cada *tag* armazena um número único de identificação e ela pode ser ativa (com energia própria) ou passiva (usa energia transmitida pelo leitor) (Santini, 2008).

O sistema

Existem dois tipos de *tag* RFID: leitura ou leitura e escrita, onde a primeira possui dados gravados de fábrica em seus microchips, e que não podem ser alterados, enquanto a segunda pode ter seus dados alterados, através de um processo de escrita (Freitas., 2020). As etiquetas RFID podem ser acopladas a diferentes tipos de objetos presentes na cadeia de suprimentos, como caixas, pallets, contêineres, veículos, equipamentos e outros ativos. As informações armazenadas nessas etiquetas são capturadas por meio de leitores e antenas que utilizam comunicação por radiofrequência. Tais dispositivos são posicionados estrategicamente em diversos pontos dos processos logísticos e produtivos, incluindo áreas de recebimento e expedição, centros de distribuição, armazéns, linhas de manufatura, além de locais de monitoramento em operações de transporte e controle de acesso (Pedroso et al., 2009).

O processo contínuo de identificação e rastreamento dos objetos gera um volume expressivo de dados relacionados à localização, movimentação, identificação e medições realizadas ao longo do tempo. Em razão dessa complexidade informacional, torna-se necessária a utilização de mecanismos específicos para o tratamento e gerenciamento desses dados. Essa função é desempenhada pelos sistemas denominados RFID *middleware*, responsáveis por intermediar a comunicação entre os componentes físicos da infraestrutura RFID, tais como antenas, leitores, sensores e impressoras. Além disso, esses sistemas processam os eventos gerados pelas leituras realizadas, permitindo a execução de ações automatizadas, como atualizações de estoque e outras operações vinculadas aos sistemas corporativos (Pedroso et al., 2009).

O fluxo de informações em ambientes RFID caracteriza-se pela sua natureza bidirecional. De um lado, os sistemas gerenciais podem enviar dados para gravação nas etiquetas; de outro, as informações registradas nessas etiquetas são transmitidas de volta aos sistemas organizacionais por meio das operações de leitura. Essa interação possibilita a integração entre os objetos físicos monitorados e os sistemas de gestão da empresa. Dessa forma, a tecnologia RFID contribui para o controle do fluxo de informações ao longo da cadeia de suprimentos, favorecendo o acompanhamento dos eventos associados aos objetos rastreados e a atualização contínua das bases de dados gerenciais.

Os componentes do sistema são ilustrados na figura 1.

Figura 1: diagrama dos principais componentes de um sistema RFID.



Fonte: Plintec INC SAS: Sistema RFID. plintec.blogspot.com

Tags (etiquetas)

As *tags* ativas possuem bateria interna para alimentar os circuitos internos, propiciando maior alcance. Nesta, a onda portadora é gerada por um oscilador com frequência definida por um cristal, garantindo comunicação em uma faixa específica. Os dados modulam essa onda, que é amplificada, filtrada e transmitida. Na recepção, o sinal é filtrado, amplificado e modulado para recuperar as informações. Esse tipo de etiqueta pode operar em diferentes faixas de frequência, que dependem do padrão RFID utilizado (125 kHz, 13,56 MHz, 860-960 MHz).

Nas *tags* passivas, por sua vez, a energia é extraída da onda eletromagnética emitida pelo leitor. O leitor envia ondas eletromagnéticas por uma antena dipolo até a antena da *tag.* Um circuito retificador transforma esta corrente alternada em contínua para carregar capacitores que a alimentam. Esse mesmo canal é usado para enviar os dados da etiqueta de volta ao leitor por modulação.

Leitor ou *transceiver*

Os leitores RFID são componentes transceptores que, usando uma antena, emitem sinais de radiofrequência para ativar etiquetas e receber seus dados, repassando essas informações a um *middleware.* Alguns leem apenas etiquetas passivas e outros realizam leitura e escrita em etiquetas ativas.

Controlador

Este dispositivo físico é responsável por controlar o leitor. Os controladores podem variar em complexidade, desde um leitor pequeno até um microcomputador com sistema servidor e várias funcionalidades.

2.3 Interferências em Ambientes Hospitalares

Estudos mostram se um sistema RFID pode causar interferência eletromagnética nos equipamentos médicos usados nos hospitais. Constatou-se que as antenas receptoras da RFID necessitam estar a uma distância mínima dos equipamentos médicos. (Kapa et al., 2011).

No que diz respeito a dados técnicos e possíveis interferências eletrônicas em decorrência do uso da RFID, Kapa et al. (2011) identificaram que uma distância mínima de 4 pés (~1,22 m), é necessária entre as antenas receptoras e os equipamentos médicos em uso, logo, os *layouts* dos hospitais precisam ser cuidadosamente analisados. Madrid et al. (2012) constataram consideráveis ganhos na confiabilidade dos processos que fazem uso de RFID, dado que em seis meses de aplicação, apenas uma de 65 etiquetas RFID apresentou falhas.

Os hospitais apresentam desafios únicos para o uso do RFID devido à presença de equipamentos médicos e condições ambientais que podem causar interferências: monitores cardíacos, aparelhos de ressonância magnética e outros dispositivos, que operam em frequências similares, podem gerar ruídos eletromagnéticos, prejudicando a comunicação entre *tags* e leitores RFID. Muitos equipamentos hospitalares e estruturas possuem componentes metálicos que podem bloquear ou refletir sinais de RFID, especialmente em frequências UHF e micro-ondas. Ambientes com alta concentração de água, produtos biológicos e líquidos utilizados em hospitais podem absorver sinais de RFID, reduzindo a eficácia da leitura, especialmente em frequências UHF. Telefones sem fio, redes Wi-Fi e outros sistemas de comunicação podem operar em frequências próximas às do RFID, causando sobreposição de sinais e impossibilitar a leitura.

Soluções para Minimizar Interferências

Relatamos algumas providências que podem ser tomadas na mitigação das interferências eletromagnéticas para a transmissão de dados:

- Escolha da Frequência Adequada: as frequências LF e HF são mais imunes a interferências e podem ser preferidas em ambientes hospitalares.
- Uso de Tag Passivas: Tag passivas são menos suscetíveis a interferências externas, pois dependem da energia do leitor para operar.
- Planejamento de Instalação: Posicionar leitores RFID longe de equipamentos médicos e áreas com alta concentração de metais ou líquidos pode reduzir interferências.

2.4 Normas Técnicas (ISO/IEC)

A ISO (*International Standards Organization*) e a IEC (*International Electro-technical Commision*) se uniram em um subcomitê (ISO/IEC JTC1) para estabelecer normas em sistemas de RFID. Essas normas foram elaboradas para os diferentes tipos de aplicação e frequência em RFID passivo, em aplicações como rastreamento animal. Para outras, que requerem frequências mais baixas, foram criadas a ISO 11784 e ISO 11785. Para cartões de identificação e dispositivos similares à alta frequência, são utilizadas atualmente as seguintes normas ISO 10536, ISO 14443 e ISO 15693 (Anatel, 2008).

Nos sistemas de RFID foram criadas normas para todas as frequências de operação (baixa frequência até micro-ondas). Dentre as normas criadas, tem-se a ISO 18000, que é dividida em sete partes e especifica as frequências utilizadas nas interfaces aéreas de comunicação:

- ISO 18000-1: Normas gerais para frequências adotadas mundialmente
- ISO 18000-2: Normas para sistemas RFID com frequência abaixo de 125 kHz ISO 18000-3:
- Normas para sistemas RFID com frequência de 13,56 Mhz

- ISO 18000-4: Normas para sistemas RFID com frequência de 2,45 GHz
- ISO 18000-5: Normas para sistemas RFID com frequência de 5,8 GHz
- ISO 18000-6: Normas para sistemas RFID com frequência de 860-930 MHz
- ISO 18000-7: Normas para sistemas RFID com frequência de 433 MHz.

No Brasil não existe regulamentação específica para RFID. Os sistemas de identificação por radiofrequência estão categorizados na regulamentação sobre equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita, encontrando-se na Resolução N° 506, de 1° de julho de 2008 (com novas atualizações), com o objetivo de estabelecer as condições de uso da radiofrequência para que os dispositivos possam ser utilizados com dispensa da licença de funcionamento e a liberação da necessidade de outorga de autorização de uso de radiofrequência. (Brasil, 2008).

2.5 Desvantagens da Tecnologia RFID

Apesar dos inúmeros benefícios da tecnologia, ainda há algumas limitações. Há o custo elevado dos componentes, principalmente para uma empresa nacional que importa esses itens. A tecnologia não se limita apenas ao *microchip* colocado no produto, mas há outros componentes (antenas, leitores, sistemas de comunicação etc.). que encarecem a tecnologia como um todo. Apesar da questão da padronização estar bem resolvida, ainda é algo em constante evolução. Questões de privacidade dos consumidores é um assunto que está sendo muito levantado ultimamente pelos clientes, sobre a monitoração das etiquetas colocadas nos produtos. Outra questão é a colisão de frequências num mesmo ambiente, que necessita de estudos, testes e uma boa configuração de antenas e da tecnologia como um todo (Queiroz et al., 2014).

2.6 Contexto Hospitalar E Gestão De Equipamentos

Em média, cerca de 20% dos ativos móveis de um hospital são perdidos ou furtados, com custo médio superior a US$ 3.000 por item (Fisher, 2012).

Para garantir que os equipamentos mantenham seu funcionamento adequado mesmo que uma manutenção já esteja agendada, mais de 75% do tempo de manutenção também é gasto na busca ou procura dos equipamentos dentro da unidade hospitalar. Implementar a RFID, permite a facilidade no acompanhamento dos equipamentos e aumenta sua utilização até o final de sua vida útil. O gasto de tempo em procurar equipamentos no hospital poderia ser aproveitado em manutenção e reparos deles. Nessa concepção, consegue-se a economia anual em milhões de dólares, além de ter o foco em oferecer melhores serviços de saúde (Lima et al., 2019).

A gestão de estoques se constitui em ações que permitem o administrador analisar sua utilização e boa localização. Uma eficiente organização de inventário é importante para organizar setores, onde a movimentação de constante de equipamento realizada por processos manuais repetitivos se torna suscetível, sendo isso um desafio em grandes empresas. Com isto, a rastreabilidade por tecnologias adequadas se mostra uma solução para automatizar e otimizar o gerenciamento de inventários (Pinheiro et al, 2024). A gestão de estoques aplicada com eficiência possibilita a redução dos custos totais da empresa (Oliveira et al, 2016). Na gestão de estoques, por exemplo, o objetivo está em garantir que os produtos certos estejam disponíveis no momento certo e na quantidade certa, otimizando custos e melhorando o atendimento ao cliente (Melara, 2011).

A utilização de métodos como a Classificação ABC pode ser aplicada para priorizar o gerenciamento de equipamentos, focando naqueles que têm maior impacto financeiro e operacional no hospital. A integração do sistema RFID na gestão de ativos hospitalares traz vantagens em relação ao controle realizado exclusivamente por pessoas:

1. Precisão nas informações: permite a coleta de dados em tempo real de forma automatizada.

2. Eficiência operacional: com RFID, é possível realizar a leitura de múltiplos itens simultaneamente, enquanto o controle manual geralmente exige que cada item seja escaneado individualmente;

3. Eliminação de necessidade de visibilidade direta: Ao contrário de códigos de barras, que requerem que o leitor tenha linha de visão direta com a etiqueta para realizar a leitura, as *tags* RFID podem ser lidas mesmo quando estão dentro de caixas ou em condições desfavoráveis;

4. Rastreabilidade e monitoramento: com RFID, é possível rastrear a movimentação de equipamentos e itens dentro e fora do estoque em tempo real;

5. Redução de custos com erros e desperdícios: a automatização do controle reduz a probabilidade de erros, como contagem incorreta ou falta de itens.

6 Acesso a dados mais relevantes: as *tags* RFID podem armazenar uma quantidade maior de informações do que códigos de barras, permitindo que dados adicionais, como datas de validade, manutenções anteriores e características do produto sejam acessados rapidamente.

3 Metodologia

Nesta seção, é apresentada a sequência metodológica que foi aplicada a um hospital específico, mas que se torna geral para monitoramento do inventário de equipamentos móveis hospitalares.

3.1 Procedimentos Metodológicos de Pesquisa

A metodologia aqui apresentada é de natureza aplicada já que busca uma implementação de sistema RFID em um hospital desenvolvida com base em pesquisas acadêmicas, artigos técnicos e experiências práticas na área da engenharia clínica.

Para buscar informações sobre aplicações da RFID no processo de rastreabilidade de equipamento biomédicos no âmbito hospitalar, foram usadas três bases de dados, revistas cientificas de aplicação RFID em hospitais, Scielo e Periódicos Capes. Em todas elas foram solicitadas a realização de busca avançada utilizando as palavras-chave “RFID” e “hospital” no Periódicos Capes foram obtidos 246 itens usando somente a palavra RFID e artigos em português nacionais de acesso aberto. Um limite para datas de publicação foi aplicado, obtendo-se inicialmente 48 artigos. Na base Scielo usando a palavra-chave RFID com filtro de coleções “Brasil” foram reduzidas para 22. Em sequência, os trabalhos foram lidos, buscando identificar características relevantes, benefícios e implicações das diferentes aplicações do sistema RFID em ambientes hospitalares. Após a leitura, 20 foram diretamente excluídos por focarem em um contexto industrial. Na fase final, foi utilizado um total de 20 artigos que permitiram a elaboração de resultados presentes nas seções adiante deste trabalho.

3.2 Breve Estudo de Caso

O Hospital (aqui citado como) “A”[1] é um exemplo de redução de perda de itens de alto custo, chegando a uma queda de 50%. O hospital teve uma redução do tempo de inventário de enxoval hospitalar, de 72 para 10 horas (-86%); a diminuição no índice de perda do enxoval, de 4% para 0,8%; a diminuição do uso indevido dos itens em 15%; a queda no tempo de procura destes itens; e a redução de 10% do investimento na aquisição de itens dos quartos de 50%. O sistema em uso foi desenvolvido e implantado, no segundo semestre de 2018, sendo realizados o desenho e a estruturação da solução. São mais de 100 equipamentos, sendo

1 Os hospitais aqui citados foram denominados como “A” e “B” a fim de anonimizar os atores envolvidos.

contabilizadas 3 milhões de leituras por dia; 30 mil itens atualizados, 300 mil itens controlados e 900 alertas enviados pelo sistema mensalmente, seja porque o equipamento está expirando ou por saída indevida. Com essa implantação, foram obtidos a redução da necessidade de substituição de itens; o aumento da mão de obra alocada nas atividades com mais prioridade; a diminuição da indisponibilidade e dos riscos do uso de equipamentos de manutenção vencidos; e a melhor gestão dos equipamentos que vão para manutenção externa ou para uso em outras unidades/locais (Baisi, 2023).

Baseado neste estudo de caso, foi feita a implementação do projeto no Hospital (aqui citado como) “B”.

3.3 Gestão de Projeto 5W2H

Para a implementação do projeto aqui tratado, foi utilizada a metodologia de gestão de projetos 5W2H. Esta é descrita como uma forma de transformar um plano de ação em tarefas claras usando sete questões. Em geral, cada letra indica: 5W (*what, who, where, when, why* – o quê, quem, onde, quando, por que) e 2H (*how, how much* – como e quanto/custo) (Huber, 2024). Na Tabela 1 é apresentada a aplicação da 5W2H para a implantação do sistema RFID hospitalar.

Tabela 1 – Planejamento 5W2H do Projeto

Elemento	**Questão-chave**	**Ação**
What?	O que será feito?	Estudo teórico da aplicação de tecnologias RFID na Engenharia Clínica no controle e rastreabilidade de equipamentos médicos.
Why?	Por que será feito?	- Para melhorar o controle de inventário de equipamentos médicos. - Facilitar a localização dos equipamentos pela equipe operacional. -Reduzir em 30% a perda e extravio de equipamentos. - Ganhar mais de 90% de tempo na localização de ativos críticos. - Obter um ROI em 12 a 18 meses.
How?	Como será feito?	- Estudo da viabilidade econômica e operacional da implementação. - Comparação do método manual de rastreabilidade em relação ao método por RFID. - Levantar fornecedores de sistemas RFID e orçar os recursos necessários. - Elaborar um plano teórico por etapas da implementação. - Análise do impacto resultante dessa implementação.
Where?	Onde será feito?	No Hospital “B”.
When?	Quando será feito?	Implementar o plano de ação em 6 meses.
Who?	Por quem?	Pela equipe de tecnólogos do setor de Engenharia Clínica.
How much?	Quanto?	Levantamento de custos totais, obtidos por orçamentos e pesquisas de componentes da infraestrutura mantidos em sigilo.

3.4 Elementos envolvidos na implementação

Para construção do modelo, foram consideradas as características específicas do Hospital "B". O sistema proposto utiliza tecnologia RFID passiva na faixa UHF (860–960 MHz), com antenas direcionais estrategicamente posicionadas para delimitar a área de leitura e garantir a rastreabilidade eficiente dos ativos.

Assim, os elementos constituintes do planejamento são:

1. Setores
   - Definição dos Setores: Identificação das áreas onde a implementação ocorrerá.
   - Análise de Necessidades: Levantamento das necessidades específicas de cada setor.
2. Tipo de *Tags*
   - Classificação das *Tags*: Identificação dos tipos de *tags* a serem utilizados (RFID, QR Code etc.).
   - Funcionalidade: Descrição das funcionalidades de cada tipo de *tag*.
3. Quantidade e Localização
   - Quantidade de *Tags*: Determinação da quantidade necessária para cada setor.
   - Localização Estratégica: Planejamento da localização das *tags* para otimizar a cobertura e eficiência.
4. Obstáculos e Interferências
   - Identificação de Obstáculos: Levantamento de possíveis obstáculos físicos e técnicos que podem afetar a implementação.
   - Análise de Interferências: Estudo de interferências que podem impactar a comunicação entre as *tags* e os leitores.

A relação entre estes elementos está ilustrada na figura 2.

Figura 2. Diagrama de blocos da implementação proposta.



3.5 Etapas de Implementação

A implementação segue uma sequência de tarefas e ações que impactam as seguintes, ficando determinadas desta maneira:

1. Mapeamento por andar

• Definição de pontos de controle (ex.: entrada/saída de setores, corredores principais).

• Identificar locais onde os equipamentos circulam com mais frequência para instalar antenas.

2. *Tags* UHF passivas específicas para hospitais

• *Tag* Laváveis, que sejam resistentes para equipamento submetidos a esterilização por autoclave.

• *Tag* especificas para fixação em metal ou polímero

2. Distribuição das antenas direcionais Frequência UHF (*Ultra-High Frequency* – 860 a 960 MHz)

• Média de 10 antenas por andar, totalizando 50 antenas.

• Cobertura nas portas principais, nos corredores e nas áreas técnicas.

3. Leitores RFID

• Cada andar terá, em média, 3 leitores, conectando até 4 antenas por leitor.

• Total estimado: 15 leitores RFID.

4. Sistema e Banco de Dados

• Algumas empresas já fornecem sistema com integração ao sistema já usado no hospital (MV, 2024) também têm opções ou sistemas do tipo (ex: PostgreSQL, MySQL) ou NoSQL (MongoDB).

5. Tratamento de sobreposição entre andares

• Antenas instaladas com baixo ganho e ângulo controlado para não ler *tags* de andares acima/abaixo com feixe concentrado de leitura (cone de 40–60 graus).

• Uso de material de absorção de RF ou blindagem simples quando necessário (teto ou piso técnico).

Cronograma de execução

Atividades	**Jan.**	**Fev.**	**Mar.**	**Abr.**	**Mai.**	**Jun.**
Pesquisa sobre tecnologias RFID e aplicações na engenharia clínica.	X					
Levantamento de requisitos teóricos para o sistema de rastreabilidade.	X					
Estudo de modelos de gestão hospitalar e impacto da rastreabilidade.	X					
Estudo de casos teóricos e modelos de implementação de RFID em hospitais.	X	X				
Análise de viabilidade econômica: custos, benefícios e impacto.		X	X			
Definição do escopo do projeto			X	X	X	
Desenvolvimento do projeto teórico do sistema de rastreabilidade.			X	X	X	
Desenvolvimento do projeto teórico completo (diagrama de fluxo, esquemas, descrição).			X	X	X	
Análise de resultados teóricos e conclusão sobre a viabilidade do sistema proposto.					X	X
Considerações finais e finalização						X

4 Resultados e discussão

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia mencionada.

4.1 Estudo De Implementação: Hospital "B"

Fundado há sete anos, o hospital (aqui citado como) "B" é composto por 6 pavimentos, possui cerca de 200 leitos ativos, sendo cerca de 40 leitos de terapia intensiva e mais de 140 leitos em unidades de internação cirúrgicas e clínicas. Somam-se a isto duas oficinas de engenharia clínica (Medicina S/A., 2024).

Para o controle de equipamentos em leitos, foi colocado nas entradas um módulo de antenas. Por exemplo, quando um equipamento entra na UTI de adulto, o sistema atualiza a localização do equipamento em tempo real. Os leitores se comunicam com as *tags*, recebendo e transmitindo informações. Os controladores gerenciam os leitores e o *middleware* conecta os leitores e as tags ao sistema de gerenciamento de dados. Este armazena e analisa os dados coletados pelo sistema RFID, facilitando o acesso e a utilização das informações para tomada de decisões. *Tags* implementadas: *tag* passiva incluindo alarmes sonoros para o caso de equipamento em local não permitido.

4.2 Custos considerados.

A pesquisa de custos foi realizada com base em valores de mercado atualizados, incluindo orçamentos enviados por quatro empresas da área. Destas, apenas uma forneceu um orçamento completo de todo o sistema. Os demais valores foram obtidos por meio de consulta a instituições que já implantaram soluções semelhantes e compartilharam os custos reais da implementação.

Estimativa de Custos: Cálculo dos custos envolvidos na implementação, incluindo aquisição de *tags*, infraestrutura e mão de obra.

Ao se analisar o custo para o uso da RFID, este pode ser dividido entre três áreas principais: *hardware*, *software* e serviços. Os custos do *hardware* incluem o custo das etiquetas, dos leitores, das antenas, do computador central e dos equipamentos de rede (cabos, roteadores, entre outros). Os custos do *software* incluem o custo da criação ou atualização do *middleware* e de outros aplicativos. Os custos dos serviços incluem o custo de instalação, sintonia, integração dos vários componentes, treinamento, suporte e manutenção e reengenharia do processo de negócios (fluxo de trabalho).

Tabela 2: custos da implementação (em consolidação)

Categoria	Quantidade / Faixa	Custo aproximado
Tags UHF passivas	500 un.	R$ 1.000 a R$ 2.500
Antenas direcionais UHF	50 un. (10 por andar)	R$ 25.000 a R$ 70.000
Leitores RFID UHF	15 un. (3 por andar)	R$ 30.000 a R$ 60.000
Sistema web + banco	Licenciado ou sob medida	R$ 10.000 a R$ 80.000
Infraestrutura e serviços	Cabeamento, rede, instalação	R$ 15.000 a R$ 30.000
TOTAL ESTIMADO	—	R$ 80.000 a R$ 250.000

Retorno sobre o investimento (ROI)

Espera-se que com a aplicação do sistema haja redução de até 30% nas perdas e extravios de equipamentos e ganho de mais de 40% no tempo de localização de ativos críticos, com retorno do investimento em cerca de 12 a 18 meses.

Um cenário relatado aqui como exemplo refere-se às bombas de infusão, pois as equipes de enfermagem, em uma emergência de levar o paciente a uma cirurgia, transportam-nas sem informar a equipe de engenharia clínica. Nas manutenções preventivas, o tempo gasto se tornava significativo, pois em 30 dias ao menos 30% deles devem ser encontrados e encaminhados.

Um técnico levava em média 2 a 3 horas por dia na procura das bombas de infusão, encontrando de 5 a 10 delas. Assumindo que o técnico trabalha 44 horas por semana e considerando um mês de trabalho com 4 semanas, obtemos 176 horas/mês com um custo por hora de R$ 2.400,00 ÷ 176 horas = R$ 13,64 por hora.

Com o custo do técnico de R$ 13,64 por hora, calculando o custo para localizar um único item, levando em consideração o tempo médio de 20 minutos (0,33 horas) para a busca manual, o custo por item localizado manualmente é calculado como 0,33 horas * R$ 13,64 = R$ 4,51 por item.

Com o RFID, o tempo de localização por item cai para aproximadamente 3 segundos (0,00083 horas), ficando o custo por item localizado com RFID: 0,00083 horas * R$ 13,64 = R$ 0,0113 por item

A busca manual leva 20 minutos por item, enquanto a busca com RFID leva apenas 3 segundos. Isso representa uma redução de mais de 99% no tempo de busca.

Este exemplo relativo a este equipamento foi estendido para a maioria dos equipamentos inventariados.

Com isto, foi desenvolvido um fluxograma de ações para fins de treinamento e instrução aos atores envolvidos no processo de movimentação dos equipamentos portáteis (figura 3)

O processo ainda está em implantação, havendo no momento atrasos no cronograma apresentado. Isto justifica a estimativa variável dos valores da Tabela 2.

Embora existam limitações técnicas e desafios operacionais, elas podem ser superadas com ajustes de configuração, treinamento da equipe e escolha adequada de componentes. A proposta também abre caminho para estudos futuros que podem explorar integração com inteligência artificial, melhoria na interface com sistemas hospitalares e expansão da cobertura para outros ativos, como pacientes e medicamentos.

5. Considerações finais e contribuições

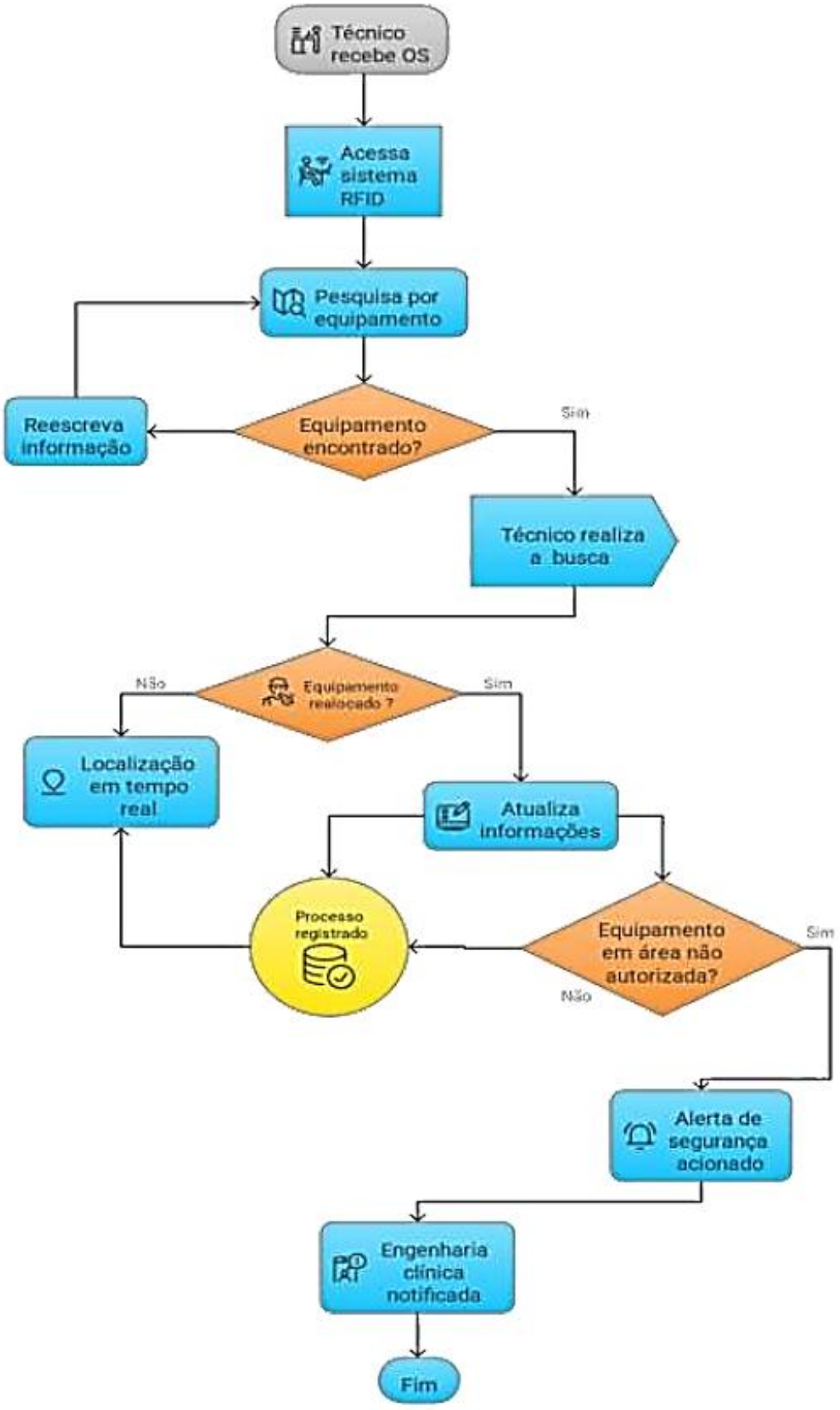
A implementação de RFID para rastrear equipamentos médicos hospitalares é um passo para o futuro da automação, proporcionando segurança, eficiência e precisão e ainda tornando-se uma ferramenta que ajuda a alcançar a excelência operacional. Com a utilização dessa tecnologia, é possível obter maior controle sobre os equipamentos médicos, diminuir desperdícios, aprimorar a logística interna e maximizar o rendimento das equipes, particularmente em ambientes complexos. Além disso, a análise de custo-benefício demonstrou que o retorno sobre o investimento pode ser alcançado em menos de dois anos, no caso do Hospital “B”.

Para aprimorar o sistema e ampliar seu uso, linhas de pesquisa e desenvolvimento, propõe-se como melhorias:

1. Uso de inteligência artificial para análise de dados, para prever movimentações, automatizar alertas com base na trajetória interna dos equipamentos.
2. Análise de usabilidade com equipes clínicas, com o estudo de como o sistema pode ser incorporado de forma intuitiva ao fluxo diário de técnicos e enfermeiros.
3. Desenvolvimento de painéis de controle por andar ou setor, a fim de tornar a visualização mais rápida e acessível, com interface gráfica.
4. Desenvolvimento de hardware com a atualização de antenas e leitores RFID utilizando componentes mais acessíveis para diminuir o seu custo.

Dessa forma, conclui-se que a implementação do sistema RFID é uma estratégia eficaz para modernizar a gestão hospitalar, contribuindo diretamente para a segurança, eficiência e qualidade dos serviços de saúde.

Figura 3. Bloco esquemático Localização de equipamento com RFID



Declaração de apoio por IA – modelos de linguagem.

Os modelos de linguagem de Inteligência Artificial foram utilizados para a revisão da formatação, na verificação de possíveis cópias textuais a partir das referências e no refinamento da redação em estilo acadêmico. Os autores declaram ser responsáveis pela execução, precisão, qualidade e originalidade deste trabalho.

Referências

ANATEL. (2008, 1 de julho). *Resolução nº 506: Regulamento sobre equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita*. Agência Nacional de Telecomunicações. https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/23-2008/104-resolucao-506

Baisi, A. (2023, 21 de setembro). *Hospital Albert Einstein tem redução de perdas com uso do RFID*. Mobile Time. https://www.mobiletime.com.br/noticias/21/09/2023/hospital-albert-einstein-tem-reducao-de-perdas-com-uso-do-rfid/

Barsotti, C. F., Rahal, E. J., & Silva, M. C. (2020). *Análise dos benefícios da gestão de estoque por meio de sensores RFID em um contexto de indústria* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Presbiteriana Mackenzie].

Brasil. (2008, 7 de julho). *Diário Oficial da União* (Seção 1, n. 128, p. 86). Imprensa Nacional. https://pesquisa.in.gov.br

Byers, E., Gomez, M. A., Sheridan, R. M., Orr, N. W., & Hirsch, J. A. (2011). *Radiofrequency identification for inventory in neurointerventional practice*. Journal of the American College of Radiology, 8(3), 191-198. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21371670/

Fisher, J. A., & Monahan, T. (2012). *Evaluation of real-time location systems in their hospital contexts*. International Journal of Medical Informatics, 81(10), 705-712. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22857790/

Freitas, R. B. (2020). *Controle e segurança patrimonial por RFID no Departamento Acadêmico de Eletrônica da UTFPR Campo Mourão* [Dissertação de pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná].

Huber, Z. (2024, dezembro 2). *5W2H - How to describe a problem in a clear and effective way?* Super Engineer. https://www.superengineer.net/blog/tools-5w2h

Kapa, S., Pierce, T., Hayes, D. L., Holmes, D. R., & Asirvatham, S. J. (2011). *Electromagnetic interference of magnetic field-based auto-identification technologies in healthcare settings.* International Journal of Medical Informatics, 80(4), 239-250. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2011.01.001

Lima, G., Marcelle, E., & Kelsch, L. (2019). *Utilização da tecnologia RFID para controle logístico de ativos e pacientes em hospitais e homecare: Uma análise bibliográfica.* Repositório SENAI CIMATEC. http://repositoriosenaiba.fieb.org.br/bitstream/fieb/1666/1/artigo%20gabriel%20lima%20e%20marcelle%20lenhart%20kelsch.pdf

Liu, J. (2024). *RFID (Radio Frequency Identification) localization and application*. Applied Sciences, 14(13), 5932. https://doi.org/10.3390/app14135932

Madrid, C., Korsvold, T., Rochat, A., & Abarca, M. (2012). *Radio frequency identification (RFID) of dentures in long-term care facilities*. The Journal of Prosthetic Dentistry, 107(3), 199-202. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22385697/

Medicina S/A. *Hospital "B" recebe reacreditação da ONA*. (2024, 18 de julho). https://medicinasa.com.br/hrs-reacreditacao/

Melara, E. P. (2011). *Estudo da tecnologia RFID e sua aplicação na gestão de estoques* [Trabalho de Graduação, Universidade Estadual Paulista]. Repositório Institucional UNESP.

MV. (2024). *Como reduzir o desperdício e investir de modo mais inteligente*. Gestão em Saúde. https://mv.com.br/blog/gestao-em-saude-como-reduzir-o-desperdicio-e-investir-de-modo-mais-inteligente

Oliveira, P., Souza, R. S., Silva, F. M. C., Lacerda, V. S. L., & Pereira, D. H. (2016). *Os desafios para gestão de estoques em micro e pequenas empresas: Um estudo de caso.* SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/20324192.pdf

Pedroso, M. C., Zwicker, R., & Souza, C. A. (2009). *Adoção de RFID no Brasil: Um estudo exploratório*. Revista de Administração Mackenzie, 10(1), 12-36. https://doi.org/10.1590/S1678-69712009000100002

Pinheiro, C. S., Rodrigues, L. R., & Borin, J. F. (2024). *Rastreamento de equipamentos com RFID* (Relatório Técnico IC-PFG-24-07). Universidade Estadual de Campinas. https://www.ic.unicamp.br/~reltech/PFG/2024/PFG-24-07.pdf

Queiroz, E. L., Ádamo, T. A., & Brito, M. M. H. (2014). *RFID e o seu uso na indústria.* Semana Acadêmica. https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigocientficotfc2014_publicacao_0.pdf

Santini, A. G. (2008). *RFID: Conceitos, aplicabilidade e impactos*. Ciência Moderna.