Journal of Health Informatics

J Health Inform. 2026;18:e1793
DOI: https://doi.org/10.59681/2175-4411.v18.iEspecial.2026.1793

ARTIGO COMPLETO
CBIS 2026

Sistema Internet das Coisas para monitoramento de medicamentos termossensíveis em refrigeradores hospitalares: estudo de caso

Internet of Things system for monitoring thermosensitive medicines in hospital refrigerators: a case study

Guilherme Almeida de Oliveira[1], Paulo Rafael Brabo de Oliveira[2], Luana da Silva Freitas[3], Sandra Regina Monteiro Ferreira[3], Salomão Braga Santos[4], Mario Sergio Vasconcelos dos Santos[5], Lennon Sales Furtado[1], Marcus de Barros Braga[6], João Carlos Lopes Fernandes[7], Jailton Wagner Rodrigues Tavares[1] ✉

ORCID: 0009-0005-9040-5144 · 0000-0002-4497-0397 · 0000-0002-0290-4498 · 0000-0003-3205-5818 · 0009-0007-6679-3970 · 0009-0005-5482-7649 · 0000-0002-3963-8234 · 0000-0003-1621-4460 · 0000-0002-5309-6304 · 0000-0001-9713-6083

[1] Instituto Federal do Pará (IFPA), Belém (PA), Brasil.
[2] ArduinoBelém, Belém (PA), Brasil.
[3] Fundação Hospital de Clínicas Gaspar Vianna (FHCGV), Belém (PA), Brasil.
[4] Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém (PA), Brasil.
[5] MTEC, Pará, Brasil.
[6] Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém (PA), Brasil.
[7] FATEC, ABC (SP), Brasil.

FICHA DO ARTIGO

TIPO
Artigo completo · CBIS 2026

IDENTIFICADOR
e1793

DOI
10.59681/2175-4411.v18.iEspecial.2026.1793

RECEBIDO
17/05/2026

APROVADO
20/07/2026

PROCESSO DE AVALIAÇÃO
Double Blind Review

EDITOR RESPONSÁVEL
Juliano de Souza Gaspar

ACESSO
Aberto, CC BY 4.0

AUTOR CORRESPONDENTE
Jailton Wagner Rodrigues Tavares
wagner.tavares@ifpa.edu.br

LICENÇA

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob a licença Creative Commons CC BY 4.0, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja corretamente citado.

CC BY 4.0

RESUMO

Introdução: Este estudo investiga o monitoramento de medicamentos termossensíveis em ambientes hospitalares, considerando os riscos associados às variações de temperatura e umidade. **Objetivo:** Desenvolver um sistema automatizado baseado em Internet das Coisas para monitoramento ambiental em tempo real em refrigeradores hospitalares. **Método:** Pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e exploratória, conduzida por meio de um estudo de caso no Hospital de Clínicas Gaspar Vianna, associada à revisão bibliográfica e ao desenvolvimento de um protótipo tecnológico utilizando microcontrolador Wemos D1 Mini, sensores DHT11 e DS18B20, aplicação web em Laravel e automação via N8N. **Resultados:** O sistema permitiu monitoramento contínuo, transmissão de dados em tempo real e emissão automática de alertas diante de variações ambientais, além de apresentar baixo custo de implementação. **Conclusão:** A solução apresenta potencial como alternativa de baixo custo para instituições públicas de saúde vinculadas ao Sistema Único de Saúde (SUS), podendo contribuir para o fortalecimento da cadeia de frio e para a modernização do armazenamento de medicamentos.

Descritores: Internet das coisas; Armazenamento de medicamentos; Ambiente de instituições de saúde.

ABSTRACT

Introduction: This study investigates the monitoring of temperature-sensitive medications in hospital settings, considering the risks associated with temperature and humidity fluctuations. **Objective:** To develop an automated, Internet of Things (IoT)-based system for real-time environmental monitoring in hospital refrigerators. **Method:** Applied research with a qualitative and exploratory approach, conducted through a case study at the Gaspar Vianna Hospital de Clínicas, combined with a literature review and the development of a technological prototype using a Wemos D1 Mini microcontroller, DHT11 and DS18B20 sensors, a Laravel web application, and automation via N8N. **Results:** The system enabled continuous monitoring, real-time data transmission, and the automatic issuance of alerts regarding environmental fluctuations, while also offering low implementation costs. **Conclusion:** The solution holds potential as a low-cost alternative for public health institutions linked to the Unified Health System (SUS), potentially contributing to the strengthening of the cold chain and the modernization of medication storage.

Keywords: Internet of Things; Drug Storage; Health Facility Environment.

CBIS 2026 XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EM SAÚDE

Artigo apresentado no XXI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde (CBIS 2026), realizado de 23 a 25 de setembro de 2026, em Brasília (DF), e publicado na seção CBIS 2026 do Journal of Health Informatics.

COMO CITAR ESTE ARTIGO: Oliveira GA, Oliveira PRB, Freitas LS, Ferreira SRM, Santos SB, Santos MSV, et al. Sistema Internet das Coisas para monitoramento de medicamentos termossensíveis em refrigeradores hospitalares: estudo de caso. J Health Inform 2026;18:e1793. doi: https://doi.org/10.59681/2175-4411.v18.iEspecial.2026.1793

1 INTRODUÇÃO

Os medicamentos hospitalares são sensíveis às condições ambientais, de modo que o armazenamento inadequado, especialmente quanto à temperatura e à umidade, pode comprometer sua qualidade, segurança e eficácia [1]. Nesse contexto, a cadeia de frio tem como finalidade manter a estabilidade e a potência desses produtos até o momento do uso [2]. Apesar da existência de normativas nacionais e internacionais sobre armazenamento e monitoramento de produtos termossensíveis, ainda persistem falhas operacionais nos serviços de saúde, sobretudo em contextos com limitações estruturais, de manutenção e de controle ambiental, podendo gerar perdas e repercussões assistenciais e institucionais [3-5].

Estudos indicam que milhões de doses de imunobiológicos são descartadas devido à manutenção inadequada da temperatura, frequentemente associada a interrupções no fornecimento de energia elétrica ou a falhas no manuseio de refrigeradores, causando prejuízos financeiros e comprometendo tratamentos e programas de vacinação [5,6]. Por outro lado, sistemas automatizados de monitoramento em tempo real podem contribuir para reduzir perdas, ampliar o controle de variáveis críticas, detectar precocemente falhas e minimizar limitações da coleta manual de dados, favorecendo maior precisão no acompanhamento das condições de armazenamento [7,8].

Embora o Programa Nacional de Imunizações recomende tecnologias como *dataloggers* para o monitoramento contínuo da temperatura, sua implementação ainda representa desafio em instituições públicas, devido às exigências de aquisição, calibração, manutenção e infraestrutura [9]. Assim, muitas unidades de saúde ainda utilizam termômetros digitais com registros manuais, prática que apresenta limitações quanto à continuidade do acompanhamento e à rastreabilidade das variações de temperatura e umidade. A dependência da ação humana amplia a possibilidade de omissões, atrasos e inconsistências, fragilizando o controle ambiental e a conservação segura de produtos sensíveis [10].

Esse cenário também foi observado na Clínica Cirúrgica do Hospital de Clínicas Gaspar Vianna, em Belém, Pará, onde o monitoramento das condições de armazenamento ocorre por verificações pontuais. Tal prática limita o acompanhamento contínuo das variáveis ambientais, dificulta a identificação imediata de oscilações e fragiliza os processos de registro. Diante disso, evidencia-se a necessidade de soluções tecnológicas capazes de automatizar o monitoramento de medicamentos termossensíveis em ambientes hospitalares [8].

Nesse sentido, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema baseado em Internet das Coisas (IoT) para monitoramento contínuo de temperatura e umidade em refrigeradores hospitalares, permitindo registro, visualização remota e acompanhamento em tempo real [11,12]. Parte-se da hipótese de que um sistema baseado em IoT, desenvolvido com sensores de baixo custo e submetido à validação estatística frente ao equipamento de referência utilizado pela instituição, apresente desempenho compatível para o monitoramento contínuo da temperatura e da umidade em refrigeradores hospitalares. Espera-se que a solução amplie a rastreabilidade das informações, reduza a dependência de registros manuais e favoreça respostas mais rápidas diante de desvios ambientais, contribuindo para o fortalecimento da cadeia de frio e para a segurança do armazenamento de medicamentos termossensíveis [13].

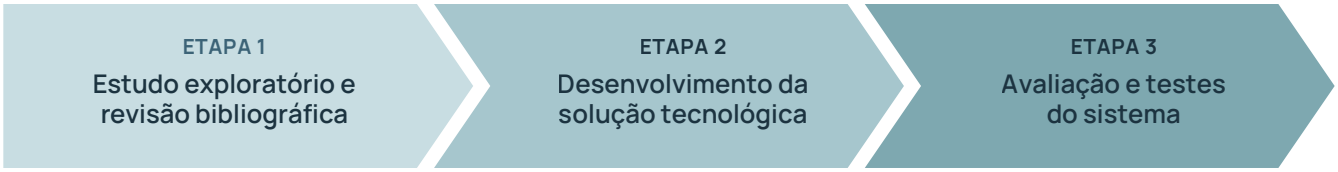
2 MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa e natureza exploratória. Quanto aos procedimentos técnicos, adotou-se o estudo de caso, articulado ao desenvolvimento de um protótipo tecnológico destinado ao monitoramento de medicamentos termossensíveis em refrigeradores hospitalares. O estudo foi conduzido no Hospital de Clínicas Gaspar Vianna, instituição pública de referência localizada em Belém, no estado do Pará. Do ponto de vista metodológico, a pesquisa foi estruturada em três etapas, cada uma delineada com finalidades específicas no processo de execução do estudo, conforme descrito a seguir.

Na Etapa 1, realizou-se uma reunião com a equipe de enfermagem, com o objetivo de levantar e compreender o problema a ser investigado. Nessa ocasião, identificou-se que os registros de temperatura interna da geladeira destinada ao armazenamento de medicamentos, bem como da umidade relativa externa do ambiente, eram realizados manualmente em planilhas. Posteriormente, foi conduzido um levantamento bibliográfico com a finalidade de identificar tecnologias capazes de mitigar o problema de maneira eficiente.

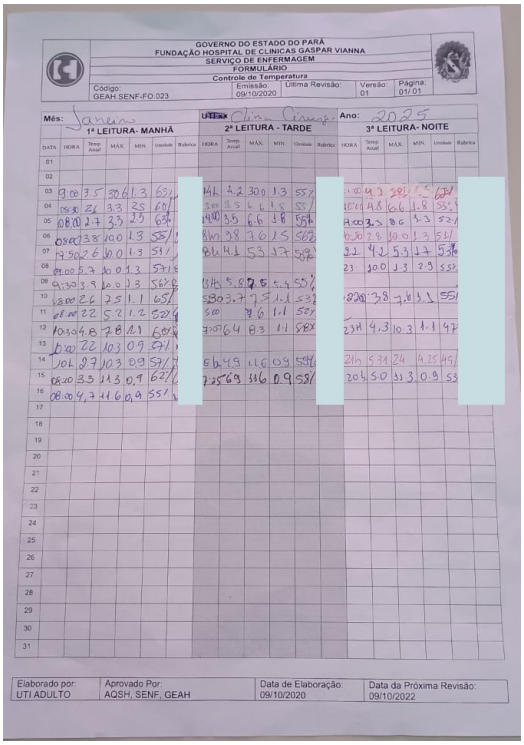
Na Etapa 2, desenvolveu-se um protótipo baseado em tecnologia IoT para o monitoramento contínuo, em tempo real, de temperatura e umidade. Cabe ressaltar que o sensor DS18B20 e a haste do termômetro de referência foram posicionados exclusivamente no interior do refrigerador para medição da temperatura interna, enquanto o sensor DHT11 foi mantido na parte externa para monitoramento da umidade relativa do ambiente hospitalar. A solução foi composta por um dispositivo IoT responsável pela aquisição dos dados, uma aplicação web desenvolvida em Laravel e um banco de dados MySQL para o armazenamento das informações.

Figura 1. Etapas metodológicas para o desenvolvimento da solução de monitoramento de medicamentos em refrigeradores em ambiente hospitalar



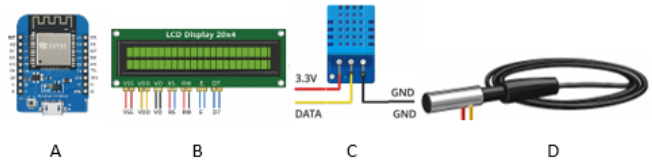
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 2. Planilha com registros manuais de dados referentes à temperatura dos refrigeradores com medicamentos e umidade do ambiente



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 3. Dispositivo A: microcontrolador WEMOS, B: Display de LCD 20×4, C: sensor DHT11, D: Sensor DS18B20



Montagem dos componentes feita com apoio de IA (ChatGPT, OpenAI, 2026).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 4. Protótipo construído com tecnologia de Internet das Coisas (IoT)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

O sensor digital de temperatura DS18B20 foi selecionado por apresentar faixa de medição entre −55 °C e +125 °C, resolução programável de 9 a 12 bits e precisão típica de ±0,5 °C na faixa de operação utilizada neste estudo, características adequadas ao monitoramento de medicamentos termossensíveis. Para a medição da umidade relativa do ambiente empregou-se o sensor DHT11, cuja faixa operacional varia entre 20% e 95% de umidade relativa, com precisão típica de ±5%, suficiente para fins de monitoramento ambiental em ambientes hospitalares. Ambos os sensores foram integrados ao microcontrolador Wemos D1 Mini (ESP8266), escolhido em função do baixo consumo energético, conectividade Wi-Fi nativa e ampla disponibilidade para aplicações em Internet das Coisas.

O display LCD 20×4 foi incorporado ao dispositivo para permitir a visualização local das variáveis monitoradas, possibilitando que profissionais da unidade consultassem temperatura, umidade e estado operacional do equipamento mesmo na ausência temporária de acesso à aplicação web ou durante atividades de manutenção da infraestrutura de rede.

Os dados coletados foram transmitidos automaticamente à plataforma web, possibilitando o registro, o armazenamento e a visualização remota das variáveis monitoradas. Adicionalmente, a plataforma N8N foi empregada para a automação de alertas com base em condições previamente definidas no sistema. O acesso à ferramenta foi restrito a usuários autorizados, de modo a assegurar o acompanhamento controlado das informações. Inicialmente, a frequência de coleta foi estabelecida em 5 segundos; posteriormente, esse intervalo foi ajustado para 1 minuto, com vistas à obtenção de maior estabilidade nos dados registrados [8].

A Etapa 3, correspondente à avaliação e aos testes do sistema, foi conduzida com o propósito de verificar o desempenho, a confiabilidade e a funcionalidade da solução desenvolvida em condições reais de uso. Inicialmente, realizou-se o monitoramento contínuo das variáveis ambientais por meio do dispositivo IoT, com transmissão dos dados para a aplicação web desenvolvida, permitindo a visualização em tempo real por usuários autorizados.

Nesse processo, foram avaliados aspectos como estabilidade da comunicação, integridade dos dados e tempo de resposta do sistema. Em seguida, procedeu-se

à validação do mecanismo de alertas automatizados, configurado na plataforma de automação N8N, verificando sua capacidade de identificar condições críticas previamente estabelecidas e notificar os responsáveis de forma eficiente e oportuna. Neste sentido, foram realizados testes controlados com simulação de variações de temperatura e umidade, a fim de observar o comportamento do sistema diante de cenários adversos.

Foram realizadas medições paralelas como método adotado para validar os dados coletados pelo protótipo desenvolvido. Conforme ilustrado na Figura 6, utilizou-se, inicialmente, um termômetro digital de máxima e mínima da marca Supermedy® e modelo HTC-2, devidamente calibrado e configurado pela equipe de engenharia clínica (Figura 6A), responsável pela aferição da temperatura no interior do equipamento monitorado e da umidade. Os valores registrados por esse dispositivo são periodicamente observados por um técnico de enfermagem e, posteriormente, transcritos manualmente para uma planilha física (Figura 6B), constituindo o método convencional de monitoramento adotado pela instituição.

Em paralelo, foi instalado o protótipo baseado em IoT (Figura 6C), responsável pela coleta automatizada e contínua das mesmas variáveis ambientais. Para a validação estatística entre o protótipo e o equipamento de referência (Figura 6A), empregou-se a amostragem aleatória estratificada, de modo a garantir a representatividade das diferentes condições ambientais decorrentes das oscilações nictemerais. A população foi segmentada em quatro estratos temporais (manhã, tarde, noite e madrugada), assegurando a inclusão das variações cíclicas de temperatura e umidade ao longo do período de monitoramento. Em seguida, foram selecionadas aleatoriamente observações em cada estrato, resultando em um subconjunto amostral adequado à realização das análises estatísticas. Para cada registro automatizado, foi estabelecida a correspondente observação manual obtida no mesmo instante de coleta, possibilitando uma análise pareada entre os dois métodos de medição. Esse procedimento resultou em 196 pares de observações, quantitativo considerado suficiente para a avaliação estatística da concordância entre o protótipo e o equipamento de referência, conforme descrito na Subseção 3.4, preservando a representatividade das condições ambientais monitoradas e a sensibilidade das análises.

Por se tratar de um estudo de desenvolvimento tecnológico com validação em ambiente controlado, sem envolvimento direto de seres humanos ou acesso a dados identificáveis, a apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa foi dispensada, conforme a Resolução nº 510/2016. Ainda assim, foram considerados os princípios éticos relacionados à segurança da informação e ao tratamento de dados no contexto hospitalar.

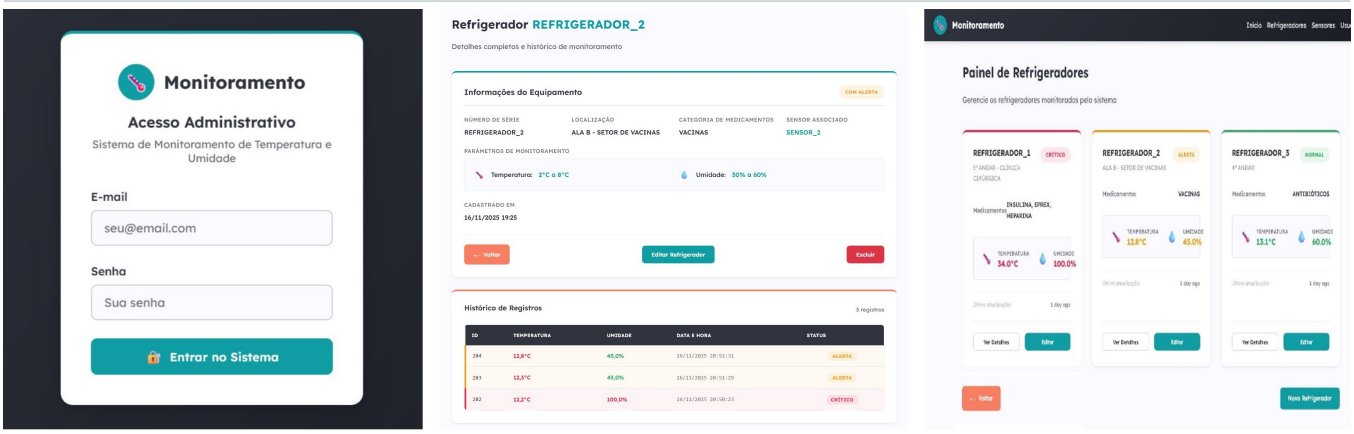
3 RESULTADOS

Testes experimentais foram conduzidos com o intuito de avaliar o sistema proposto. Após a construção do protótipo IoT (Figura 4) e do sistema de gerenciamento de dados (Figura 5), bem como sua respectiva implementação em um Servidor Virtual Privado (VPS), os parâmetros de cada dispositivo foram testados e devidamente comparados.

3.1 Dispositivo IoT para monitoramento dos medicamentos em refrigeradores

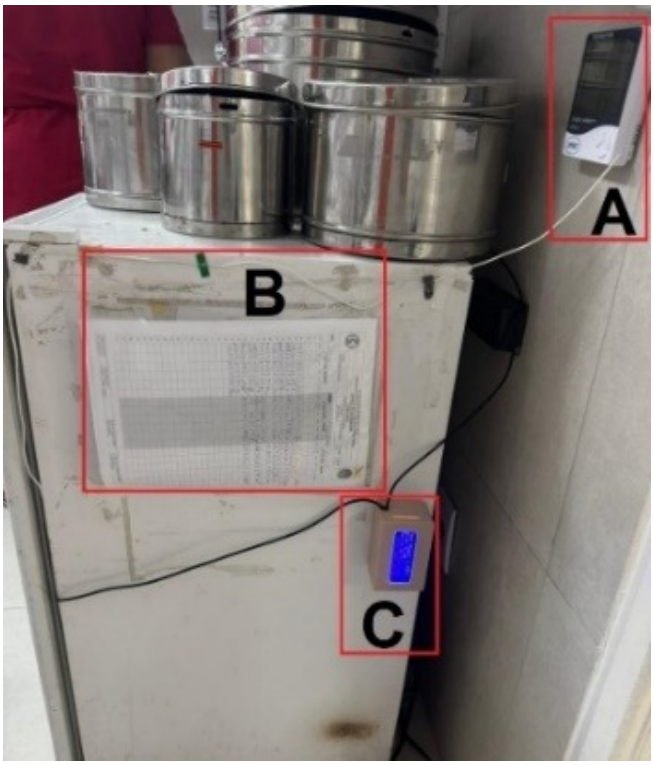
O dispositivo utiliza um microcontrolador Wemos D1 Mini v4 para o processamento de dados. A instrumentação compreende um sensor DS18B20, destinado à medição da temperatura interna dos refrigeradores, e um sensor DHT11 para o monitoramento da umidade relativa externa. Visando à integridade física, os componentes foram acondicionados em um invólucro fabricado via impressão 3D

Figura 5. A: Tela de login do sistema, B: Tela de informações sobre os equipamentos monitorados e histórico de registro de temperatura e umidade, C: Tela de painel de controle dos refrigeradores monitorados pelo sistema



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 6. A: Termômetro digital com máxima e mínima, B: Planilha em papel para registro dos valores de temperatura e umidade, C: Protótipo IoT para monitoramento em tempo real



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

(Figuras 3 e 4).

A escolha desses componentes considerou critérios de baixo custo, facilidade de integração e compatibilidade com as redes Wi-Fi do hospital. O microcontrolador utilizado possui conectividade integrada baseada no chip ESP8266, permitindo a transmissão direta dos dados coletados via conexão com a internet para o banco de dados da aplicação web, conforme observado na Figura 5.

Os testes realizados demonstraram que o sistema é capaz de coletar dados ambientais com uma periodicidade de 1 minuto, mantendo estabilidade tanto na aquisição quanto na transmissão das informações. Essa frequência de coleta assegura a consistência dos dados ao longo do tempo, permitindo um monitoramento contínuo e confiável das variáveis ambientais monitoradas pelo sistema.

Os dados consolidados entre os dias 17 e 23 de abril de 2026 (Tabela 2) revelam a dinâmica térmica do refrigerador monitorado pelo protótipo IoT. Durante o período experimental, o sistema registrou uma temperatura média global de aproximadamente 7,47°C, com picos de máxima atingindo 13,25°C (19/04 e 22/04) e mínimas de 1,06°C (20/04).

A Tabela 2 apresenta o perfil térmico do ambiente interno do refrigerador durante o período avaliado. Já a Tabela 3 apresenta os registros da umidade relativa no ambiente externo, apresentando médias diárias consistentemente acima de 77%. O valor máximo

Tabela 1. Dados adquiridos do sistema IoT

Data	Hora	Sensor	Valor	Unidade
22-04-2026	00:00:04	Umidade	88	%
22-04-2026	00:00:04	Temperatura	6,94	°C
22-04-2026	00:01:08	Umidade	88	%
22-04-2026	00:01:08	Temperatura	6,88	°C
22-04-2026	00:02:12	Umidade	88	%
22-04-2026	00:02:12	Temperatura	6,94	°C
22-04-2026	00:03:16	Temperatura	6,88	°C
22-04-2026	00:03:16	Umidade	88	%
22-04-2026	00:04:21	Temperatura	6,81	°C
22-04-2026	00:04:21	Umidade	88	%

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Tabela 2. Dados gerados do sistema IoT do sensor de temperatura (DS18B20)

Data	Mínima	Máxima	Média
17-04-2026	3,44	13	7,66
18-04-2026	3,38	10,69	7,08
19-04-2026	1,6	13,25	7,17
20-04-2026	1,06	12,69	6,16
21-04-2026	4,56	10,63	6,79
22-04-2026	5,38	13,25	9,23
23-04-2026	5,19	12,06	8,24

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Tabela 3. Dados gerados do sistema IoT do sensor de umidade (DHT11)

Data	Mínima	Máxima	Média
17-04-2026	71	86	77,61
18-04-2026	73	89	79,02
19-04-2026	75	93	82,17
20-04-2026	70	89	81,52
21-04-2026	71	95	82,66
22-04-2026	70	91	82,59
23-04-2026	68	92	81,59

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

registrado foi de 95% no dia 21/04/2026, evidenciando a operação do protótipo em condições de saturação hídrica iminente.

As excursões térmicas registradas na Tabela 2 com mínima de 1,06 °C e máxima de 13,25 °C corresponderam a eventos pontuais e transitórios, com duração inferior a 10 minutos, associados ao degelo automático do equipamento de refrigeração e a aberturas de porta durante o manuseio da equipe de enfermagem. Durante esses picos, o sistema N8N disparou alertas automatizados para os responsáveis. Contudo, devido ao curto intervalo de exposição, a estabilidade dos medicamentos termossensíveis armazenados como

insulinas e Eprex®, recomendados entre 2 °C e 8 °C, não foi comprometida, não demandando descarte ou plano de contingência emergencial pela equipe.

Tabela 4. Estimativa de custos do sistema de monitoramento IoT

Categoria	Item	Descrição	Custo estimado (R$)
Hardware	Microcontrolador	Wemos D1 Mini v4	40,00
Hardware	Sensor de temperatura e umidade	DHT11	15,00
Hardware	Sensor de temperatura digital	DS18B20	20,00
Hardware	Display LCD	Display LCD 20×4 com Backlight Verde	45,00
Hardware	Estrutura protetora	Caixa ou suporte para proteção do dispositivo impresso em 3D	25,00
Subtotal Hardware	—	Custo total estimado do dispositivo IoT	145,00
Infraestrutura digital	Servidor VPS	Hospedagem do sistema web	27,99/mês
Infraestrutura digital	Custo operacional	Hospedagem por 24 meses	671,76
Custo total estimado do projeto	—	Hardware + operação por 2 anos	816,76

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Tabela 5. Métricas de concordância entre o dispositivo IoT e o equipamento padrão

Variável	Viés	Desvio-padrão	Limite Inferior de Concordância	Limite Superior de Concordância	Limite técnico	Situação
Temperatura	0,006 °C	0,186 °C	-0,359 °C	+0,372 °C	±0,5 °C	Atende
Umidade	-0,07%	1,02%	-2,06%	1,92%	±3%	Atende

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.2 Monitoramento em Tempo Real e Sistema de Alertas Automatizados

Os resultados obtidos incluem a implementação de uma aplicação web para visualização e gerenciamento dos dados coletados pelos dispositivos IoT, desenvolvida com o *framework* Laravel, seguindo a arquitetura *model-view-controller* (MVC) [14]. Essa abordagem facilita a organização do código e a manutenção do sistema. Os dados, coletados pelos sensores e enviados via rede Wi-Fi, são armazenados em um banco de dados MySQL [11] e visualizados na plataforma.

Cada unidade IoT possui um número de série único, previamente cadastrado, garantindo a associação correta dos dados ao equipamento monitorado. Esse procedimento contribui para o controle de acesso e para a identificação do dispositivo no sistema, aspecto relevante em aplicações web de saúde, nas quais a interoperabilidade, a autenticação e a segurança da comunicação entre dispositivos IoT e servidores em nuvem constituem requisitos fundamentais para a confiabilidade das soluções digitais [15].

Além disso, foi implementado um sistema automatizado de alertas, utilizando a plataforma N8N (*low code*), que realiza consultas periódicas ao banco de dados para detectar situações em que os parâmetros de temperatura ou umidade ultrapassam os limites definidos pelo administrador [16]. O sistema de alertas possui dois gatilhos temporizados: um a cada 60 segundos, e outro com execução horária, para redefinir o estado de notificação no banco de dados, evitando notificações excessivas e otimizando o gerenciamento das ocorrências.

3.3 Análise de custo da solução proposta

A Tabela 4 demonstra que o sistema proposto apresenta baixo custo de implementação, especialmente quando comparado a soluções comerciais de monitoramento da cadeia de frio disponíveis no mercado [13,17]. Tal característica indica que a solução possui potencial para ampliar a adoção de tecnologias de monitoramento ambiental em instituições públicas de saúde, sobretudo em contextos com restrições orçamentárias, como hospitais e unidades de saúde do sistema público [10].

3.4 Validação estatística do Sistema

A análise estatística foi realizada por meio do método de Bland–Altman para avaliar a concordância entre as medições do protótipo IoT e do equipamento de referência. Foram estimados o viés médio, o desvio-padrão das diferenças e os limites de concordância de 95% para as variáveis temperatura e umidade relativa. As análises utilizaram 196 pares de observações, selecionados durante sete dias de monitoramento contínuo e distribuídos entre os estratos temporais

definidos na amostragem, garantindo representatividade das oscilações ambientais e uma avaliação estatisticamente fundamentada da concordância entre os métodos de medição, considerando o limite técnico aceitável para temperatura de ±0,5 °C e para umidade relativa de ±3%.

Os resultados na Tabela 5 demonstram excelente concordância entre o dispositivo IoT e o equipamento padrão. Para a temperatura, o viés médio foi praticamente nulo 0,006, e os limites de concordância de 95% variaram entre -0,359 e +0,372, permanecendo completamente contidos na margem técnica previamente estabelecida de 0,5. Além disso, aproximadamente 98,98% das observações individuais apresentaram diferenças dentro desse limite.

Para a umidade relativa, o viés médio foi de apenas −0,071%, indicando ausência de erro sistemático relevante. Os limites de concordância variaram entre −2,061% e +1,918%, igualmente contidos na faixa técnica de ±3%, com 99,49% das observações dentro do limite estabelecido.

Esses resultados fornecem evidências de que o protótipo IoT apresenta concordância compatível com o equipamento de referência para as variáveis analisadas, atendendo aos critérios técnicos previamente definidos para monitoramento de temperatura e umidade em ambiente controlado.

3.5 Calibração e Resiliência do Sistema

Os sensores DS18B20 e DHT11 foram calibrados em relação ao termo-higrômetro de referência antes da instalação. O dispositivo possui religamento automático e rotina de reconexão Wi-Fi; contudo, quedas prolongadas de energia e instabilidades na rede de dados ainda requerem o uso de *nobreaks* dedicados. A comunicação entre o dispositivo e o servidor VPS é realizada por protocolo seguro (TLS), com autenticação e controle de acesso à aplicação web por perfis credenciados. O custo estimado de R$ 816,76 contempla o hardware e a hospedagem por 24 meses, devendo-se considerar, em implementações em maior escala, despesas com manutenção corretiva e calibração periódica. O sistema monitora exclusivamente as condições ambientais dos equipamentos de refrigeração, sem armazenar dados pessoais ou informações clínicas, atendendo aos princípios da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (Lei nº 13.709/2018).

4 DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que a solução baseada em IoT apresenta potencial para aprimorar o monitoramento ambiental de medicamentos termossensíveis em ambiente hospitalar, reduzindo limitações inerentes ao registro manual, como descontinuidade das medições, menor rastreabilidade e atraso na identificação de desvios críticos [8,10]. Esses achados estão alinhados às recomendações nacionais e internacionais para manutenção contínua da cadeia de frio, essencial para preservar a estabilidade e a eficácia de medicamentos e imunobiológicos [1,3,5,9]. O protótipo desenvolvido possibilitou aquisição automática, transmissão em tempo real e armazenamento contínuo dos dados, características semelhantes às descritas em sistemas IoT aplicados ao monitoramento hospitalar [7,8,11,13,17]. As oscilações térmicas observadas corroboram estudos que apontam falhas operacionais como fatores de risco para comprometimento da qualidade de produtos termossensíveis [2,3,6,10]. A arquitetura integrada à aplicação web, banco de dados MySQL e alertas automatizados via N8N ampliou a capacidade de monitoramento remoto e resposta rápida às condições críticas [11,14,16]. Além disso, a elevada concordância entre o protótipo IoT e o equipamento de referência demonstra que sensores de baixo custo, quando calibrados e validados, podem fornecer medições confiáveis para aplicações em saúde [18]. O reduzido custo de implementação reforça a viabilidade da solução para instituições públicas vinculadas ao Sistema Único de Saúde (SUS), podendo fortalecer a rastreabilidade, apoiar a gestão da cadeia de frio e ampliar a segurança no armazenamento de medicamentos [10,13,17].

5 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou a viabilidade da utilização de tecnologias baseadas em IoT para automatizar o monitoramento ambiental de medicamentos termossensíveis em ambiente hospitalar. O sistema desenvolvido, composto por dispositivo IoT, aplicação web e envio automático de alertas por e-mail, permitiu a coleta, transmissão, armazenamento e disponibilização de dados em tempo real, apoiando a tomada de decisão frente a alterações nas condições de armazenamento. Como limitações, destaca-se que a validação consistiu em uma prova de conceito baseada em sete dias de monitoramento, realizada em um único refrigerador e em um único hospital, restringindo a avaliação da confiabilidade em longo prazo. Nesse sentido, estudos futuros poderão ampliar a aplicação para diferentes equipamentos e instituições, além de incorporar sensores de maior precisão, integração com plataformas hospitalares e recursos preditivos. Portanto, a solução apresenta potencial como alternativa de baixo custo, podendo contribuir para o fortalecimento da cadeia de frio e para a modernização do armazenamento de medicamentos em instituições públicas de saúde vinculadas ao SUS.

Contribuição dos autores. Os autores contribuíram igualmente em todas as etapas de elaboração do artigo, incluindo a concepção e o delineamento do estudo, a coleta, a análise e a interpretação dos dados, a redação e a revisão crítica do manuscrito, bem como a aprovação da versão final para publicação.

Agradecimentos. Os autores expressam seus agradecimentos ao Hospital de Clínicas Gaspar Vianna, especialmente à equipe da Clínica Cirúrgica do 5º andar, pelo apoio institucional e técnico prestado durante o desenvolvimento do estudo, cujas contribuições foram fundamentais para a realização das atividades de pesquisa.

Financiamento. O estudo não recebeu financiamento de instituições públicas, privadas ou de agências de fomento.

Disponibilidade de dados e materiais. Os dados e materiais utilizados na pesquisa não estão disponíveis publicamente. Informações adicionais poderão ser solicitadas aos autores, observadas as exigências éticas e institucionais aplicáveis. Projeto no OSF: https://osf.io/jx52k/overview

Conflitos de interesse. Os autores declaram não haver conflitos de interesse de natureza pessoal, profissional, institucional ou financeira relacionados à realização da pesquisa e à publicação do manuscrito.

Declaração de uso de IA. Os autores declaram a utilização de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) desenvolvidas pela OpenAI® como recurso de apoio à redação, à revisão linguística, à elaboração de figuras e à organização do manuscrito, com ênfase no aprimoramento da clareza, da coerência, da correção gramatical e da sistematização das informações. A análise e a interpretação dos dados, bem como a verificação da precisão científica e a responsabilidade pelo conteúdo apresentado, permaneceram sob responsabilidade integral dos autores.

REFERÊNCIAS

1. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 430, de 8 de outubro de 2020. Dispõe sobre boas práticas de distribuição, armazenagem e transporte de medicamentos [Internet]. Diário Oficial da União. 2020 out 9 [citado 2026 nov 24]. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-de-diretoria-colegiada-rdc-n-430-de-8-de-outubro-de-2020-282070593
2. Chen D, Kristensen D. Opportunities and challenges of developing thermostable vaccines. Expert Rev Vaccines. 2009;8(5):547-57. doi: https://doi.org/10.1586/erv.09.20
3. Matthias DM, Robertson J, Garrison MM, Newland S, Nelson C. Freezing temperatures in the vaccine cold chain: A systematic literature review. Vaccine. 2007;25(20):3980-6. doi: https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2007.02.052
4. World Health Organization. Immunization handbook: part 2 [Internet]. Geneva: WHO; [2017] [cited 2026 Mar 14]. Available from: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/searo/india/publications/immunization-handbook-107-198-part2.pdf
5. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 318, de 6 de novembro de 2019. Dispõe sobre estudos de estabilidade de medicamentos e insumos farmacêuticos ativos [Internet]. Diário Oficial da União. 2019 nov 7 [citado 2026 nov 24]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2019/rdc0318_06_11_2019.pdf
6. Seabra Filho FT, Moura ADA, Osterno CLM, Alves Júnior NC, Câncio KS, Sousa MHL, et al. Perda de imunobiológicos e sua repercussão na gestão do programa estadual de imunizações, Ceará-Brasil. Enferm Foco. 2022;12(5). doi: https://doi.org/10.21675/2357-707x.2021.v12.n5.4537
7. Miao C, Chen P, Xi Y, Li X. Intelligent Medication Warehouse Environment Monitoring System. In: 2023 IEEE 5th Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability (ECBIOS). Tainan, Taiwan: IEEE; 2023. p. 96-9. doi: https://doi.org/10.1109/ecbios57802.2023.10218687
8. Barbosa TL, Machado RB. Sistema IoT para monitoramento de temperatura e umidade de refrigeradores e ambientes em hospital do Oeste do Paraná: estudo de caso. Rev Pleiade. 2023;17(41):124-136.
9. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento do Programa Nacional de Imunizações. Manual de rede de frio do Programa Nacional de Imunizações [Internet]. 6. ed. Brasília: Ministério da Saúde; 2025 [citado 2026 nov 24]. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/vacinacao/rede-de-frio
10. Amaral GG, Sousa LG, Silva SP, Karter AL, Silva BS, Zacharias FCM, et al. Análise das condições operacionais para conservação de imunobiológicos nas salas de vacinação do Brasil: estudo misto. Cad Saude Publica. 2024;40(7):e00014924. doi: https://doi.org/10.1590/0102-311xpt014924
11. Mabrouki J, Azrour M, Dhiba D, Farhaoui Y, Hajjaji SE. IoT-based data logger for weather monitoring using arduino-based wireless sensor networks with remote graphical application and alerts. Big Data Min Anal. 2021;4(1):25-32. doi: https://doi.org/10.26599/bdma.2020.9020018
12. Sarkar S, Akshatha KS, Saurabh A, Samanvitha B, Sarwar MF. IoT enabled cold supply chain monitoring system. In: 2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT); 2022; Bangalore, India. IEEE; 2022. p. 1-6. doi:10.1109/GCAT55367.2022.9972137.
13. Hasanat RT, Arifur Rahman M, Mansoor N, Mohammed N, Rahman MS, Rasheduzzaman M. An IoT based Real-time Data-centric Monitoring System for Vaccine Cold Chain. In: 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). Varna, Bulgaria: IEEE; 2020. p. 1-5. doi: https://doi.org/10.1109/ewdts50664.2020.9225047
14. Pop DP, Altar A. Designing an MVC Model for Rapid Web Application Development. Procedia Eng. 2014;69:1172-9. doi: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.106
15. Santos LS, Martins GM, Itturriet FP, Machado JC, Martins ALM. Interoperabilidade e Segurança na Implementação de Aplicações Web de Saúde com SMART on FHIR. J Health Inform. 2023;15(Especial). doi: https://doi.org/10.59681/2175-4411.v15.iespecial.2023.1096

16. Silva JX, Avelino G. Evaluation of low code and no code platforms as a strategy to increase productivity in software development. In: Proceedings of the XXIII Brazilian Symposium on Software Quality. New York, NY, USA: ACM; 2024. p. 92-102. doi: https://doi.org/10.1145/3701625.3701649

17. Selvarasu S, Bashkaran K, Radhika K, Valarmathy S, Murugan S. IoT-Enabled Medication Safety: Real-Time Temperature and Storage Monitoring for Enhanced Medication Quality in Hospitals. In: 2023 2nd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS). Pudukkottai, India: IEEE; 2023. p. 256-61. doi: https://doi.org/10.1109/icacrs58579.2023.10405212

18. Kang Y, Aye L, Ngo TD, Zhou J. Performance evaluation of low-cost air quality sensors: A review. Sci Total Environ. 2022;818:151769. doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151769

NOTAS EDITORIAIS

O Journal of Health Informatics é uma publicação científica mantida pela Sociedade Brasileira de Informática em Saúde, associação científica sem fins lucrativos dedicada ao desenvolvimento da Informática em Saúde e da Saúde Digital no Brasil. O processo editorial é conduzido com independência científica, sem interferência institucional, comercial ou de patrocinadores, e segue as boas práticas internacionais de ética em publicação científica.

Este artigo foi avaliado por pares, em sistema duplo-cego, por especialistas da área. A equipe editorial usou ferramentas de inteligência artificial, com supervisão humana, na triagem inicial, na conferência do texto, das referências e dos números e, quando necessário, no redesenho de figuras, quadros e tabelas, aprovado pelos autores na prova. As ferramentas e as salvaguardas estão na Política de uso de inteligência artificial da revista. As decisões editoriais foram tomadas por pessoas.

SBIS Sociedade Brasileira de Informática em Saúde