



## C A P Í T U L O 3

# MONITORAMENTO DE NÍVEIS HÍDRICOS PARA ENCHENTES E INUNDAÇÕES EM ÁREAS DE RISCO DE TEÓFILO OTONI: IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO COM MICROCONTROLADOR ESP8266

<https://doi.org/10.22533/at.ed.519172513113>

SANTOS, L. C.F.

SANTOS, D. M.

SOUZA, D. C.

**RESUMO:** As inundações urbanas representam um desafio crítico em Teófilo Otoni (MG), agravadas pela ocupação desordenada e chuvas intensas. Visando mitigar esses riscos com baixo custo, este trabalho desenvolve um sistema de monitoramento de níveis hídricos para enchentes e inundações baseado em IoT, utilizando o microcontrolador ESP8266 e a plataforma Adafruit IO. O sistema integra sensores de nível tipo bóia para detectar variações em tempo real, transmitindo os dados para um painel web acessível via celular. A solução proposta não apenas fornece suporte técnico à Defesa Civil, mas também democratiza o acesso à informação, permitindo que moradores de áreas vulneráveis monitorem o nível do rio diretamente. O projeto contribui para a redução de danos materiais e humanos, promovendo a resiliência comunitária frente a desastres naturais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inundações, IoT, Monitoramento hídrico, ESP8266, Teófilo Otoni.

## MONITORING OF WATER LEVELS FOR FLOODS AND INUNDATIONS IN RISK AREAS OF TEÓFILO OTONI: IMPLEMENTATION OF A LOW-COST SYSTEM WITH AN ESP8266 MICROCONTROLLER

**ABSTRACT:** Urban floods represent a critical challenge in Teófilo Otoni (MG), exacerbated by disorderly occupation and heavy rains. Aiming to mitigate these risks at low cost, this work develops an IoT-based water level monitoring system for floods and inundations, using the ESP8266 microcontroller and the Adafruit IO

platform. The system integrates float-type level sensors to detect real-time variations, transmitting data to a web dashboard accessible via mobile. The proposed solution not only provides technical support to Civil Defense but also democratizes access to information, allowing residents of vulnerable areas to monitor river levels directly. The project contributes to the reduction of material and human damages, promoting community resilience against natural disasters.

**KEYWORDS:** Floods, IoT, Water monitoring, ESP8266, Teófilo Otoni.

## INTRODUÇÃO

Historicamente, a preocupação com o nível de água dos rios requer estudos aprofundados, tendo em vista a necessidade de alertar “a população para as cheias e seus impactos no cotidiano dos municípios” (MOREIRA et al., 2019, p. 5). Nesse sentido, o uso de tecnologias pode facilitar de forma imediata, o trabalho de aquisição e disponibilização das informações, para a população local, organizações e universidades.

A qualidade da água e o regime dos rios são diretamente afetados pelo crescimento acelerado da população e pelo desenvolvimento das cidades. Segundo Ferraz (2021), o uso inadequado do solo e a impermeabilização das vertentes provocam interferências na dinâmica hidrológica, potencializando a ocorrência de enchentes (elevação do nível do canal) e inundações (transbordamento para as margens). A cada ano, o crescimento das ocorrências naturais de grande impacto tem se tornado cada vez mais perceptível. Dentre elas, as inundações urbanas configuram-se como um dos principais desastres naturais no Brasil, ocasionando impactos sociais, econômicos e ambientais significativos.

Como destaca Pinho (2025), a ocorrência de eventos extremos traz consigo uma série de consequências negativas, principalmente para os moradores de áreas marginalizadas. De acordo com o CEMADEN (2023), mais de 900 municípios brasileiros estão em áreas suscetíveis a desastres hidrológicos, evidenciando a necessidade de sistemas de monitoramento e alerta eficientes.

Em Minas Gerais, esse cenário se manifesta com intensidade durante o período chuvoso. Entre 1º de outubro e 31 de março, há um aumento significativo na frequência e na severidade das chuvas, o que contribui para a elevação das ocorrências. Os registros do Corpo de Bombeiros Militar (CBMMG, 2025) evidenciam um aumento expressivo nos chamados relacionados a inundações em áreas ribeirinhas, principalmente em cidades de médio porte como Teófilo Otoni.

Localizada no nordeste de Minas Gerais, Teófilo Otoni contava, segundo dados do IBGE de 2022, com uma população de 137.418 habitantes. A urbanização desordenada na região intensifica a exposição de populações ribeirinhas e periféricas

a riscos hidrológicos. Segundo Tucci (2003), tais eventos ocorrem quando há precipitações intensas e o volume de água que atinge o rio supera sua capacidade de drenagem, provocando o transbordamento para as áreas ribeirinhas. A ocupação das planícies de inundação natural dos rios Todos os Santos, Santo Antônio e São Jacinto agrava a vulnerabilidade dessas comunidades, transformando as cheias sazonais em desastres com perdas materiais e humanas.

Diante disso, torna-se fundamental investir em tecnologias de monitoramento e prevenção. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022) destaca a importância do acompanhamento em tempo real de dados hidrológicos. Nesse contexto, soluções de baixo custo têm se destacado como alternativas viáveis para complementar a rede oficial. Estudos demonstram a aplicabilidade de microcontroladores em sistemas de monitoramento ambiental e gestão de riscos. Helal *et al.* (2018) aplicam essas tecnologias no monitoramento da qualidade da água, enquanto Narciso *et al.* (2023) destacam seu uso em sistemas de alarme para enchentes. Projetos recentes, como o *Water Sentinel* (Alegria *et al.*, 2025) e sistemas de alarmes desenvolvidos em institutos federais (Narciso *et al.*, 2023), reforçam a viabilidade de protótipos acessíveis para proteção civil.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema eletrônico de monitoramento de enchentes e inundações utilizando o microcontrolador ESP8266, sensores de nível tipo bóia BH100 e a plataforma de Internet das Coisas Adafruit *IO*, com foco na aplicação em áreas de risco de Teófilo Otoni. Este sistema visa democratizar o acesso à informação, servindo como ferramenta de apoio tanto para órgãos oficiais quanto para a comunidade local, que poderá acompanhar a evolução do nível do rio em tempo real através de dispositivos móveis.

Para alcançar o objetivo geral proposto, foram traçadas etapas específicas de desenvolvimento. Inicialmente, buscou-se investigar o contexto das inundações em Teófilo Otoni e a aplicabilidade de tecnologias IoT de baixo custo para a mitigação de riscos. Em seguida, procedeu-se ao desenvolvimento do protótipo do sistema, integrando o *hardware* (ESP8266 e sensores) e o *software* (plataforma Adafruit *IO*) para a captura e transmissão dos dados hidrológicos. Por fim, realizou-se a validação da funcionalidade do sistema através de testes práticos, analisando a precisão da detecção dos níveis de encheente e a eficácia do monitoramento remoto via aplicativo celular.

## REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta os conceitos essenciais para a compreensão da proposta, abordando a problemática das inundações urbanas e as tecnologias embarcadas aplicadas ao monitoramento.

## Dinâmica das Inundações Urbanas e Gestão de Riscos

Para a adequada gestão de riscos hidrológicos em áreas urbanas, é imprescindível compreender a relação entre o crescimento da cidade e o comportamento dos rios. Segundo Tucci (2003), o processo de urbanização impermeabiliza o solo e canaliza os cursos d'água, aumentando a velocidade e o volume do escoamento superficial. Como consequência, as cheias tornam-se mais frequentes e intensas, superando a capacidade de vazão do canal e resultando em inundações nas áreas ribeirinhas, onde a população se instala de forma vulnerável.

No contexto de Teófilo Otoni, essa dinâmica descrita por Tucci se confirma. A cidade desenvolveu-se historicamente sobre as planícies fluviais do Rio Todos os Santos e de seus principais afluentes, os rios Santo Antônio e São Jacinto. Conforme apontam Ferraz et al.,(2016), essa ocupação resultou na impermeabilização excessiva do solo e em intervenções estruturais, como canalizações, que alteraram a dinâmica natural de escoamento. Tais alterações reduzem o tempo de concentração da bacia, gerando picos de vazão abruptos e transformando enchentes naturais em inundações com alto potencial destrutivo nas áreas densamente habitadas, como é mostrado na Figura 1.

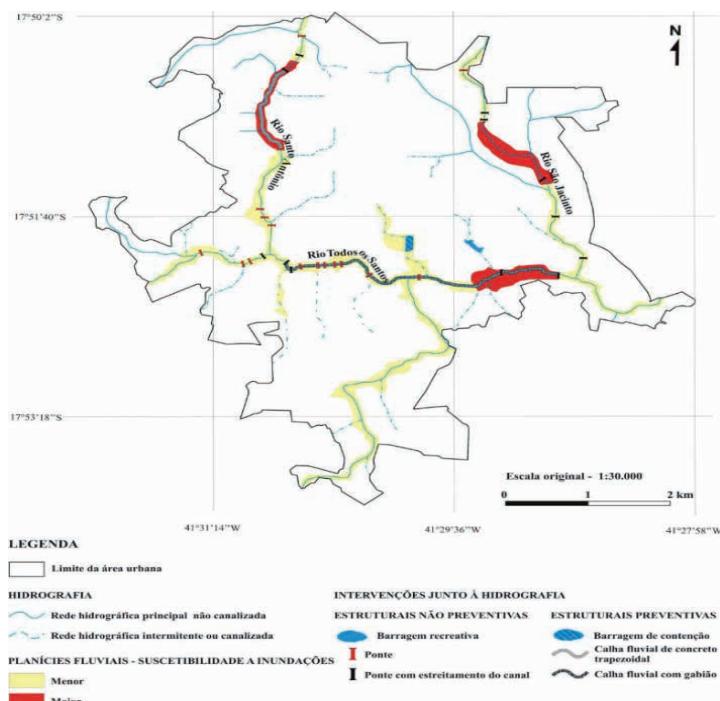


Figura 1 - Mapa de suscetibilidade a inundações e alagamentos de Teófilo Otoni.

Fonte: Ferraz et al.,(2022).

A recorrência e a gravidade desses eventos podem ser mensuradas através dos dados oficiais de atendimento a desastres. O levantamento realizado junto ao Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), compreendendo o período de 2015 a 2025, aponta um total de 287 registros relacionados a eventos hidrológicos na região. Estes atendimentos foram classificados em três naturezas operacionais distintas: P02007 (Vistoria em risco de inundação/alagamento/enxurrada), R03008 (Inundações/alagamentos/enxurradas propriamente ditas) e S01006 (Salvamento de pessoas em inundação/alagamento/enxurrada).

A análise dos dados (Tabela 1 ) revela que a grande maioria dos chamados (265 registros, correspondendo a cerca de 92% do total) refere-se à natureza P02007 (Vistoria em risco). Este dado é significativo, pois demonstra que a atuação do Corpo de Bombeiros ocorre predominantemente após a materialização do evento hidrológico ou diante de um risco já instalado. Nessas situações, as equipes são acionadas para avaliar os danos causados pela enchente ou inundação já ocorrida, bem como para verificar a persistência de riscos estruturais ou geológicos para as famílias que residem nessas áreas, gerando relatórios técnicos que subsidiam ações de resposta e recuperação. Além disso, foram registrados 18 eventos de atuação direta durante inundações (R03008) e 4 operações complexas de salvamento de pessoas (S01006), evidenciando o risco real à vida.

CÓDIGO	NATUREZA DA OCORRÊNCIA	TOTAL (2015–2025)	PROPORÇÃO (%)
P02007	Vistoria em risco de inundação, alagamento ou enxurrada	265	92,3%
R03008	Inundações, alagamentos ou enxurradas	18	6,3%
S01006	Salvamento de pessoa em inundação, alagamento ou enxurrada	4	1,4%
<b>Total</b>	—	<b>287</b>	<b>100%</b>

Tabela 1 - Total de registros de ocorrências hidrológicas atendidas pelo CBMMG em Teófilo Otoni por natureza operacional (2015–2025).

Fonte: Dados do Sistema Integrado do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (2025).

Os picos de ocorrências coincidem com os anos de maior pluviosidade, concentrando-se nos meses de novembro, dezembro e janeiro. Diante desse cenário, onde a demanda por vistorias pós-evento é elevada, torna-se evidente a necessidade de ferramentas de monitoramento preventivo. A implementação de sistemas de IoT capazes de fornecer dados em tempo real pode antecipar a detecção da subida do nível do rio, permitindo que a população seja alertada antes que a inundação atinja as residências, reduzindo assim os danos que posteriormente demandariam as vistorias do Corpo de Bombeiros.

## A Internet das Coisas (IoT) como Ferramenta de Alerta

O conceito de Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) refere-se à interconexão digital de objetos cotidianos com a internet, permitindo que estes coletem e troquem dados. Segundo Faccioni Filho (2016), a IoT não se trata apenas de uma nova tecnologia, mas de uma fronteira onde a rede passa a abranger dispositivos com capacidade de processamento e comunicação, transformando objetos físicos em “objetos inteligentes”. No contexto da gestão de riscos, Aguirre (2017) define esses objetos como dispositivos que possuem estrutura física, identificação única e, fundamentalmente, capacidade computacional para sensoriar fenômenos físicos, como o nível de um rio ou a intensidade de chuva.

A aplicação dessas tecnologias promove uma mudança de paradigma na Defesa Civil e na gestão de desastres naturais: a transição de uma atuação reativa para uma atuação preventiva. Historicamente, as ações de resposta ocorriam após a materialização do desastre, focadas no socorro e na recuperação. Com a IoT, torna-se possível o monitoramento contínuo e em tempo real das variáveis ambientais (monitoramento), permitindo a antecipação dos eventos críticos. Conforme destaca Machado et al., (2025), a utilização de sensores conectados possibilita a emissão de alertas precoces, oferecendo à comunidade e aos gestores públicos o tempo necessário para a tomada de decisão e a execução de planos de contingência antes que o impacto severo ocorra.

A arquitetura de um sistema de alerta baseado em IoT é geralmente estruturada em camadas que garantem o fluxo da informação do ambiente físico até o usuário final. Esposito et al., (2022) apud Machado et al., (2025) descrevem essa arquitetura em três níveis fundamentais:

**Camada de Percepção:** Composta pelos sensores e objetos inteligentes instalados no local (como o sensor de nível no rio), responsáveis pela coleta dos dados brutos.

**Camada de Transporte:** Responsável pela transmissão dos dados através de redes de comunicação (Wi-Fi, LoRa, 3G/4G).

**Camada de Processamento e Aplicação:** Geralmente hospedada na nuvem (Cloud), onde os dados são armazenados, processados e apresentados aos usuários através de interfaces gráficas (dashboards) ou sistemas de notificação.

A Figura 2 ilustra essa arquitetura aplicada a um sistema de alerta de inundações, demonstrando como os sensores em campo se comunicam com a estação central para gerar o alerta.

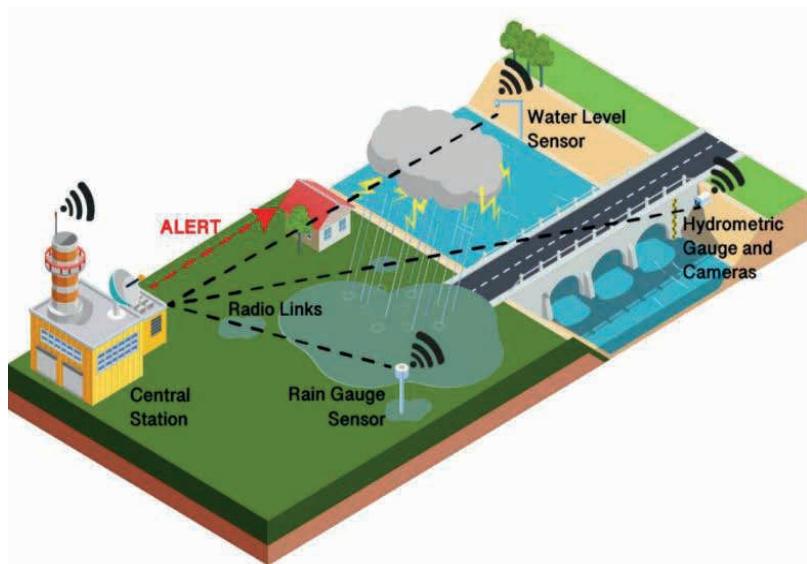


Figura 2 - Sistema de alerta precoce de inundações baseado em IoT.

Fonte: Espósito et al., (2022) apud Machado et al., (2025).

Neste trabalho, a arquitetura proposta segue este modelo, utilizando sensores de nível (percepção) conectados ao microcontrolador ESP8266, que transmite os dados via Wi-Fi (transporte) para a plataforma Adafruit IO (processamento/nuvem). Essa estrutura permite que a informação sobre a subida do nível do rio esteja acessível instantaneamente em dispositivos móveis, democratizando o acesso aos dados que antes ficavam restritos a centros de controle, e permitindo que a população vulnerável atue como agente ativo na sua própria segurança.

## Microcontroladores de Baixo Custo: O Potencial do ESP8266 e o Módulo NodeMCU

A viabilização de sistemas de monitoramento em larga escala depende diretamente da redução dos custos de hardware. Historicamente, plataformas de prototipagem como o Arduino desempenharam um papel fundamental na popularização da eletrônica embarcada. No entanto, para aplicações de Internet das Coisas (IoT), o Arduino convencional apresenta limitações, exigindo a acoplagem de módulos externos (como shields Ethernet ou Wi-Fi) para se conectar à internet, o que eleva o custo final e a complexidade do circuito.

Nesse cenário, o microcontrolador ESP8266, desenvolvido pela Espressif Systems, representa uma revolução tecnológica. Diferentemente dos microcontroladores de 8 bits tradicionais, o ESP8266 é um System-on-a-Chip (SoC) de 32 bits que já integra nativamente a conectividade Wi-Fi e a pilha de protocolos TCP/IP. Galvão et al., (2022) destacam que sua popularidade deve-se ao excelente custo-benefício e à versatilidade de programação, sendo compatível com a IDE do Arduino e linguagens como C++ e LUA, o que facilita a migração de projetos existentes.

Para este trabalho, optou-se especificamente pela placa de desenvolvimento NodeMCU v3 (modelo Lolin) conforme Figura 3, baseada no módulo ESP-12E. Leal (2019) descreve que esta versão se destaca pela integração do chip conversor USB-Serial CH340G, que permite a comunicação direta com computadores sem a necessidade de conversores externos, além de possuir um regulador de tensão de 3.3V e 11 portas de entrada/saída digitais (GPIO). Essas características tornam o dispositivo uma solução “pronta para uso”, ideal para prototipagem rápida em campo.

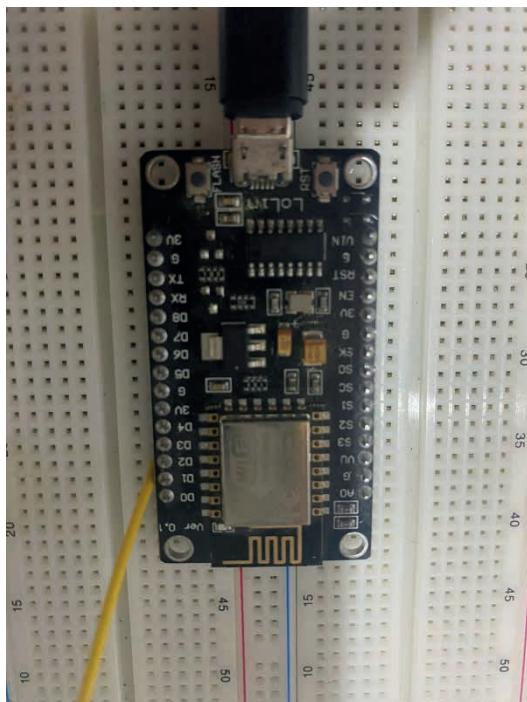


Figura 3 - Placa de desenvolvimento NodeMCU v3 (Lolin) baseada no ESP8266.

Fonte: Autoria própria, (2025).

Outro fator determinante para a escolha deste componente é a eficiência energética, vital para equipamentos de campo instalados em locais sem rede elétrica, como as margens de rios. Nascimento e Cichaczewski (2021) enfatizam os recursos de gerenciamento de energia do ESP8266, especificamente o modo de hibernação profunda (Deep-Sleep). Neste modo, o processador desliga a maior parte de seus circuitos internos e o módulo Wi-Fi, reduzindo drasticamente o consumo de corrente para a ordem de microampères, “acordando” apenas para realizar a leitura e o envio dos dados. Essa funcionalidade permite que o sistema de monitoramento opere por longos períodos alimentado por baterias ou pequenas fontes de energia renovável, garantindo a autonomia necessária para a vigilância contínua das enchentes.

Portanto, a escolha do NodeMCU ESP8266 justifica-se pela combinação de alto poder de processamento, conectividade nativa e baixo consumo, alinhando-se ao objetivo de desenvolver uma ferramenta acessível e replicável para a comunidade de Teófilo Otoni.

## Plataformas em Nuvem e Sensores de Nível: A Arquitetura do Sistema

A arquitetura de um sistema de monitoramento baseado em Internet das Coisas (IoT) transcende o hardware físico, dependendo fundamentalmente de uma infraestrutura de rede e processamento capaz de transformar dados brutos em informação útil. Segundo Aguirre (2017), a Computação em Nuvem (Cloud Computing) é definida pelo National Institute of Standards and Technology (NIST) como um modelo que permite acesso sob demanda, via rede, a um conjunto compartilhado de recursos computacionais configuráveis. No contexto da gestão de riscos, essa tecnologia permite que os dados coletados em campo sejam armazenados, processados e acessados de qualquer lugar, eliminando a necessidade de servidores locais complexos e onerosos.

O fluxo de dados em sistemas de monitoramento hídrico segue uma estrutura em camadas. Leal (2019) descreve que as plataformas de nuvem atuam recebendo os dados dos dispositivos (camada de percepção), armazenando-os em bancos de dados e disponibilizando-os para aplicações de usuário. Para aplicações de baixo custo e prototipagem rápida, plataformas Platform as a Service (PaaS), como a Adafruit IO, destacam-se por simplificar a conexão de microcontroladores à nuvem via protocolo MQTT, oferecendo nativamente a criação de Dashboards (painéis de controle) e integração com dispositivos móveis.

A camada de apresentação é crucial para a usabilidade do sistema pela comunidade. Conforme destacado por Nascimento e Cichaczewski (2021), o desenvolvimento de uma interface visual permite ao usuário não apenas observar as

informações coletadas pelos sensores em tempo real, mas também visualizar gráficos históricos de comportamento, facilitando a interpretação da evolução do nível do rio. Macedo et al., (2021, p.17) destacam que interfaces gráficas que utilizam códigos de cores “possibilitam a visualização visual de eventos críticos”, o que é essencial para a resposta a incidentes. No que tange à coleta de dados no ambiente físico, a escolha do sensor é determinante para a robustez do sistema. Embora sensores ultrassônicos sejam comuns em pesquisas acadêmicas para medição de distância, ambientes fluviais reais apresentam desafios como turbulência, espuma e detritos que podem interferir na leitura de ondas sonoras.

Nesse cenário, sensores de nível do tipo chave (bóia) apresentam-se como uma alternativa robusta. O princípio de funcionamento destes sensores baseiam-se na interação magnética: uma bóia contendo um ímã permanente desloca-se ao longo de uma haste conforme o nível da água varia; ao atingir determinado ponto, o campo magnético aciona um contato interno (*reed switch*), fechando o circuito elétrico. Esta solução é ideal para ambientes hostis, como rios com água turva, pois seu acionamento é mecânico e imune a interferências ópticas ou acústicas, garantindo a confiabilidade necessária para um sistema de alerta de enchentes.

A Figura 4 apresenta o detalhe dos sensores de nível tipo bóia instalados na estrutura de suporte utilizada nos testes experimentais.

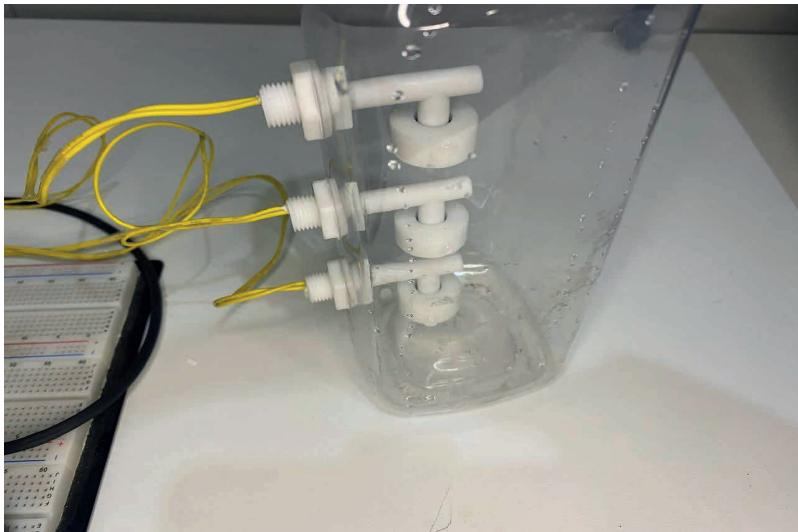


Figura 4 - Sensores de nível tipo bóia instalados na estrutura de teste.

Fonte: Autoria própria, (2025).

## Democratização da Informação e Tecnologias Sociais

A eficácia das soluções tecnológicas para a gestão de riscos não reside apenas na precisão da coleta de dados, mas fundamentalmente na capacidade de disseminar essa informação para quem está na ponta da linha de vulnerabilidade. Aguirre (2017) ressalta que a expansão do acesso a smartphones no Brasil, inclusive nas camadas sociais de menor renda, criou um canal direto de comunicação que deve ser explorado pela Defesa Civil. Ao disponibilizar dados de nível de rio em tempo real diretamente no celular do cidadão, transforma-se a dinâmica de segurança: o morador deixa de ser um agente passivo que aguarda um aviso oficial (que pode chegar tarde) e passa a ter autonomia para decidir o momento de evacuação diante de uma iminente inundação.

Esse processo de empoderamento pela informação é descrito por Moura (2025) como um ato de justiça ambiental e social. O autor argumenta que a tecnologia deve ser projetada para promover a independência das populações locais, integrando saberes comunitários com ferramentas digitais. A visualização simplificada dos dados através de painéis (dashboards) intuitivos permite que qualquer pessoa, independentemente de seu nível de instrução técnica, compreenda o grau de risco representado pelas cores de alerta (verde, amarelo, vermelho), fortalecendo a resiliência comunitária.

Além da acessibilidade da informação, a acessibilidade financeira é um pré-requisito para a replicabilidade de qualquer solução em países em desenvolvimento. Machado et al., (2025) alertam que a implementação de cidades inteligentes (Smart Cities) no Brasil deve considerar as profundas desigualdades históricas e a escassez de recursos municipais. Sistemas de monitoramento proprietários e de alto custo tornam-se inviáveis para cobrir todas as áreas de risco de cidades de médio porte como Teófilo Otoni. Portanto, o desenvolvimento de estações de baixo custo, baseadas em hardware aberto e componentes acessíveis, não é apenas uma escolha de engenharia, mas uma estratégia de política pública para garantir que a tecnologia chegue às periferias e zonas rurais, onde o risco de desastres é frequentemente maior e a presença do Estado é menor.

Dessa forma, este trabalho alinha-se ao conceito de Tecnologia Social, propondo uma solução que é tecnicamente robusta, economicamente viável e socialmente transformadora, garantindo que a inovação da IoT sirva como instrumento de proteção à vida.

## METODOLOGIA

### Arquitetura do Sistema e Seleção de Materiais

A arquitetura de hardware do sistema foi projetada visando o equilíbrio entre baixo custo, eficiência energética e robustez operacional em ambiente externo. O sistema opera em topologia de estrela, onde o microcontrolador atua como nó central concentrador, coletando sinais digitais dos sensores e transmitindo-os via rede sem fio para a nuvem.

Para a materialização do protótipo, foram selecionados os seguintes componentes conforme Figura 5:

**Microcontrolador:** Placa de desenvolvimento NodeMCU v3 (Lolin), equipada com o módulo ESP8266-12E. A escolha deste componente deve-se à sua capacidade de processamento de 32 bits e conectividade Wi-Fi nativa, eliminando a necessidade de shields de comunicação adicionais, comuns em plataformas como o Arduino.

**Sensores de Nível:** 3 (três) chaves de nível verticais (tipo bóia) com contato reed switch (on/off), fabricadas em polipropileno (PP).

**Infraestrutura de Prototipagem:** Protoboard de 400 pontos e cabos jumpers macho-fêmea e macho-macho para as conexões elétricas.

**Alimentação:** Fonte de alimentação de 5V com conector micro-USB (padrão de carregadores de celular) ou Power Bank para testes de campo móveis.

Um ponto crítico na seleção dos materiais foi a definição do tipo de sensor. Diversos trabalhos na literatura, como o de Nascimento e Cichaczewski (2021), utilizam sensores ultrassônicos (HC-SR04) para monitoramento de nível. Embora eficazes em ambientes controlados (como caixas d'água domésticas), os sensores ultrassônicos apresentam limitações severas em ambientes fluviais abertos. Fatores como a presença de espuma na superfície da água, detritos flutuantes, turbulência e até mesmo a variação da temperatura do ar podem dispersar a onda sonora ou alterar a velocidade de propagação do som, gerando leituras imprecisas ou “falsos positivos” de nível.

Diante desse cenário de instabilidade ambiental, optou-se pelo uso de sensores de nível tipo bóia. Estes dispositivos operam por acionamento mecânico-magnético: a flutuação da bóia move um ímã que fecha um contato seco (reed switch) interno, enviando um sinal digital binário (0 ou 1) ao microcontrolador. Esta tecnologia apresenta maior robustez para águas com turbidez elevada ou impurezas, pois seu funcionamento não depende da reflexão de ondas sonoras ou ópticas, garantindo maior confiabilidade para o sistema de alerta de enchentes proposto.

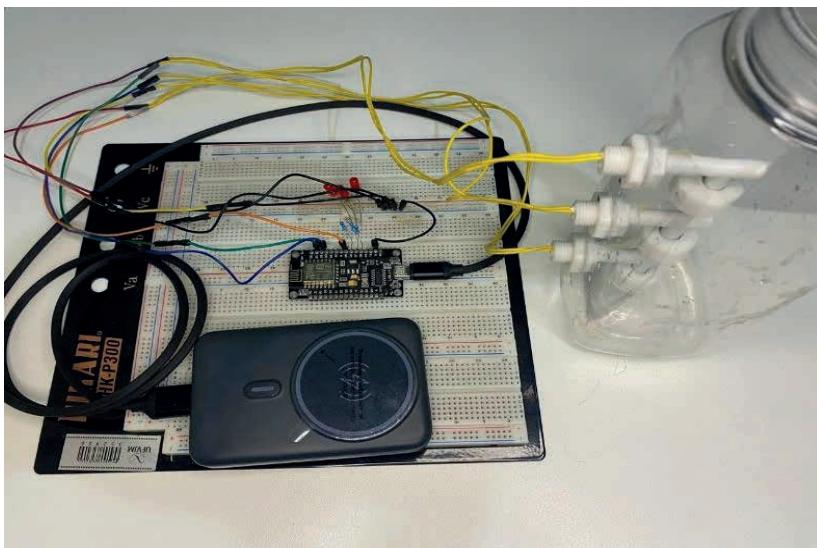


Figura 5 - Conjunto de componentes utilizados na montagem do protótipo.

Fonte: Autoria própria, (2025).

## Montagem do Hardware e Circuito Eletrônico

A montagem do circuito eletrônico foi realizada visando a simplicidade e a minimização de componentes externos, aproveitando os recursos internos do microcontrolador. O circuito foi prototipado em uma matriz de contatos (protoboard) para validar as conexões antes da instalação em campo.

Os três sensores de nível (chaves de bôia) foram conectados diretamente às portas digitais de entrada/saída (GPIO) do NodeMCU ESP8266. Para a definição da lógica de leitura, estabeleceu-se o seguinte mapeamento de pinos:

Sensor de Nível Baixo (Normal): Conectado ao pino digital D1 (GPIO 5);

Sensor de Nível Médio (Atenção): Conectado ao pino digital D2 (GPIO 4);

Sensor de Nível Alto (Crítico): Conectado ao pino digital D5 (GPIO 14).

Um dos terminais de cada sensor foi ligado à respectiva porta digital, enquanto os terminais opostos foram conectados a um barramento comum de terra (GND).

Para simplificar a montagem física e reduzir custos, eliminou-se a necessidade de resistores de pull-up externos (componentes normalmente usados para garantir um nível lógico estável quando a chave está aberta). Em vez disso, utilizou-se o recurso de software do microcontrolador, ativando os resistores de pull-up internos através

do comando INPUT\_PULLUP na configuração do firmware. Com essa configuração, as portas digitais mantêm-se em nível lógico ALTO (3.3V) quando as bóias estão abaixadas (circuito aberto). Quando o nível da água sobe e aciona a bóia, o circuito fecha para o GND, alterando o nível lógico para BAIXO (0V), o que é interpretado pelo software como “presença de água”.

A alimentação do sistema foi projetada para garantir mobilidade. O NodeMCU é alimentado com uma tensão de 5V através de sua porta micro-USB. Em testes de campo, utilizou-se uma bateria portátil (Power Bank) de 5V conforme Figura 6, uma solução que oferece autonomia e estabilidade, conforme validado em estudos similares de monitoramento hídrico residencial.

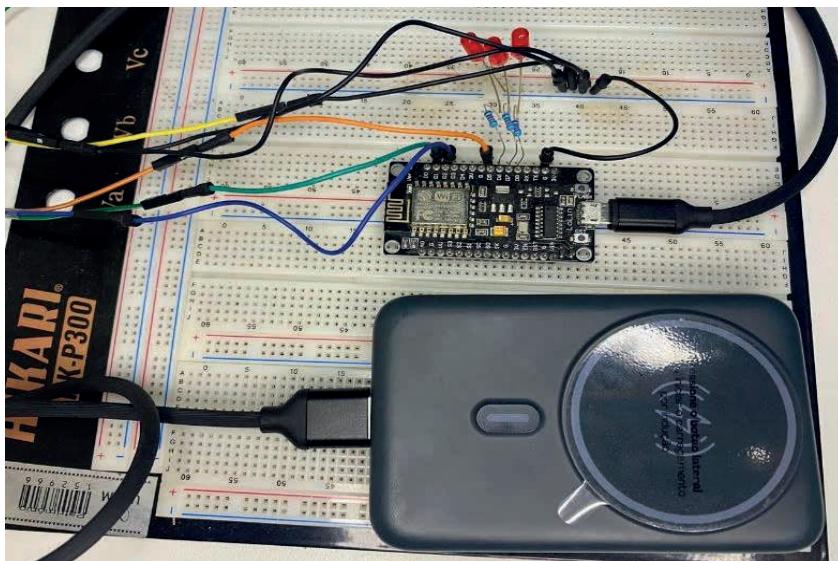


Figura 6 - Detalhe das conexões dos sensores na protoboard com o NodeMCU e alimentação.

Fonte: Autoria própria, (2025).

## Desenvolvimento do Firmware e Lógica de Leitura

O firmware do sistema foi desenvolvido em linguagem C++, utilizando a IDE do Arduino e a biblioteca oficial da plataforma Adafruit IO. A lógica de programação foi estruturada para otimizar o uso dos recursos de processamento e, fundamentalmente, para respeitar as limitações de tráfego de dados da nuvem e maximizar a eficiência energética do sistema.

Diferente de sistemas de monitoramento convencionais que transmitem dados em intervalos de tempo fixos e contínuos (por exemplo, a cada segundo), o algoritmo implementado opera sob o paradigma de “transmissão orientada a eventos”. O código armazena na memória volátil do microcontrolador o último estado lógico conhecido de cada um dos três sensores (0 ou 1). Durante o ciclo de execução (loop), o processador realiza a leitura das portas digitais em tempo real. Antes de iniciar qualquer transmissão, o software compara o valor atual lido com o valor armazenado anteriormente.

A transmissão de dados via protocolo MQTT para a nuvem ocorre estritamente quando há uma divergência entre o estado atual e o estado anterior, ou seja, quando ocorre uma mudança física no nível da água (acionamento ou desacionamento de uma bôia). Se os níveis permanecerem estáveis, o microcontrolador mantém-se em estado de vigilância local, sem ativar o rádio Wi-Fi para envio de pacotes.

Essa estratégia de “envio por exceção” oferece duas justificativas técnicas principais para a viabilidade do projeto de baixo custo:

**Gestão de Tráfego de Dados:** A conta gratuita da plataforma Adafruit IO impõe um limite de taxa de envio (rate limit) de 30 pontos de dados por minuto. A transmissão contínua de três sensores excederia rapidamente esse limite, resultando no bloqueio temporário (throttling) da conexão. A lógica implementada garante que o sistema opere indefinidamente sem violar os termos de serviço, mesmo utilizando a infraestrutura sem custos.

**Eficiência Energética:** Em sistemas embarcados IoT, o módulo de comunicação sem fio é o componente de maior consumo energético. Ao reduzir drasticamente o tempo de atividade do rádio transmissor, limitando-o apenas aos momentos críticos de mudança de nível, reduz-se o consumo médio de corrente do sistema. Isso é fundamental para equipamentos de campo, pois prolonga a autonomia da fonte de alimentação e viabiliza o uso futuro de baterias de menor capacidade ou sistemas solares compactos.

## Integração com a Plataforma IoT e Interface Mobile

A camada de aplicação e apresentação dos dados foi implementada na plataforma Adafruit IO, escolhida por oferecer suporte nativo ao protocolo MQTT e permitir a criação de interfaces gráficas (dashboards) responsivas sem a necessidade de desenvolvimento complexo de front-end. A configuração do ambiente em nuvem foi dividida em duas etapas: a estruturação dos canais de dados (feeds) e a construção da interface de visualização.

Inicialmente, foram criados três feeds distintos, denominados nível\_baixo, nível\_medio e nível\_alto. Estes canais funcionam como tópicos MQTT que recebem as cargas úteis (payloads) enviadas pelo microcontrolador. Cada feed armazena o estado lógico binário do sensor correspondente (0 ou 1), mantendo também o registro temporal (timestamp) de cada atualização, o que permite a geração de históricos de ocorrências.

A interface visual foi projetada com foco na usabilidade e na rápida interpretação por usuários leigos conforme Figura 7. Segundo Macedo *et al.*, (2021), a implementação de painéis de monitoramento (*dashboards*) permite a identificação imediata de anomalias, sendo fundamental para a “execução de ações preventivas que minimizem seus impactos” (MACEDO *et al.*, 2021, p. 17). Para tanto, configurou-se um *Dashboard* público utilizando *widgets* (elementos gráficos) do tipo indicador de estado.

A lógica visual adotou a metáfora de um semáforo, universalmente compreendida como escala de risco:

Bloco 1 (Verde): Vinculado ao feed nível\_baixo. Configurado para acender na cor verde quando o valor recebido for “1”, indicando que o rio atingiu o nível de normalidade/atenção inicial.

Bloco 2 (Amarelo): Vinculado ao feed nível\_medio. Acende em amarelo mediante o valor “1”, indicando estado de alerta e elevação anormal do nível.

Bloco 3 (Vermelho): Vinculado ao feed nível\_alto. Acende em vermelho quando recebe “1”, sinalizando estado crítico e iminência de inundação (transbordamento).

Para garantir a acessibilidade da informação à comunidade, o dashboard foi configurado em modo “Público”. Isso gera uma URL (link de internet) única que pode ser compartilhada via aplicativos de mensagens (como WhatsApp) ou redes sociais. Ao clicar no link, o morador acessa a interface diretamente pelo navegador do smartphone, sem a necessidade de baixar aplicativos específicos, realizar cadastro ou efetuar login. Essa abordagem remove barreiras tecnológicas e facilita a disseminação do alerta, alinhando-se ao conceito de Cidades Inteligentes onde a tecnologia serve diretamente ao cidadão.



Figura 7- Interface do painel de monitoramento visualizada em dispositivo móvel.

Fonte: Autoria própria, (2025).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Validação Experimental do Hardware

A validação funcional do hardware foi realizada em bancada, utilizando um aparato experimental composto por um recipiente tubular plástico transparente, graduado verticalmente, para simular a calha de um rio e a elevação do nível da água. Os três sensores de nível tipo bóia foram fixados em alturas pré-determinadas dentro do tubo conforme Figura 8, correspondendo aos níveis lógicos definidos na metodologia: Nível 1 (Base/Normal), Nível 2 (Intermediário/Atenção) e Nível 3 (Topo/Crítico).

O procedimento de teste consistiu no preenchimento gradual do recipiente com água, observando-se o comportamento mecânico e elétrico de cada sensor. Conforme o nível da água atingia a altura de cada bóia, o empuxo elevava o flutuador magnético, acionando o reed switch interno e alterando o estado da porta digital do microcontrolador de "1" (círcuito aberto) para "0" (círcuito fechado/terra).

Os resultados obtidos demonstraram o funcionamento ideal do conjunto. O sistema detectou corretamente e de forma sequencial os três estágios de cheia:

Acionamento do Sensor 1: Confirmou o início da elevação do nível, validando o estado de monitoramento ativo.

Acionamento do Sensor 2: Sinalizou corretamente o estado de alerta, sem interferência ou acionamento prematuro do sensor superior.

Acionamento do Sensor 3: Disparou o estado crítico imediatamente após a áqua atingir a cota máxima estabelecida.

Não foram observados falsos contatos ou oscilações de leitura (bouncing) durante o teste. A histerese natural dos sensores de bóia, aliada à configuração de pull-up do firmware, garantiu que a leitura se mantivesse estável mesmo com pequenas movimentações da água, confirmando a robustez da escolha deste tipo de sensor em detrimento de modelos ultrassônicos ou capacitivos para esta aplicação específica.

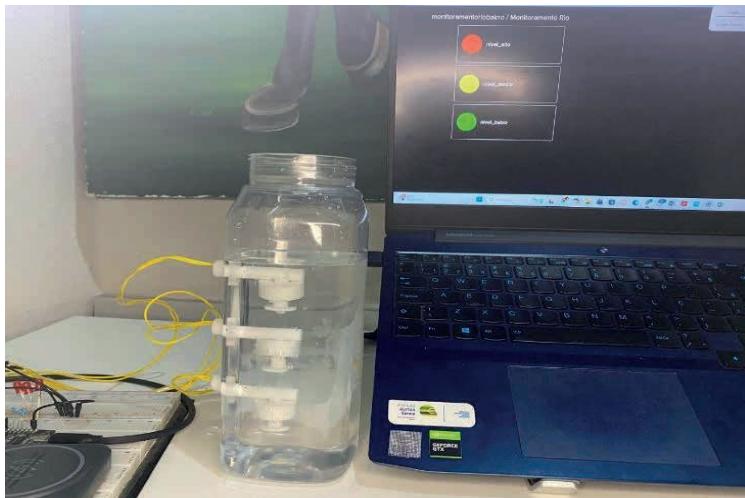


Figura 8 - Validação experimental dos sensores de nível em ambiente controlado.

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

## Desempenho da Comunicação e Latência

A avaliação do desempenho comunicacional do sistema focou na latência, definida como o intervalo de tempo decorrido entre a mudança física do estado do sensor (acionamento da bóia no tubo de teste) e a correspondente atualização visual no dashboard da plataforma Adafruit IO.

Nos experimentos realizados em ambiente com rede Wi-Fi padrão (2.4 GHz), o sistema apresentou uma resposta considerada imediata para fins de alerta civil. O tempo médio registrado entre a elevação do nível da água e o acendimento do

indicador luminoso (LED virtual) no painel foi inferior a 3 segundos. Esta baixa latência válida a eficiência do protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) utilizado na plataforma, que, por ser otimizado para IoT, garante a entrega rápida de pacotes de dados com cabeçalhos reduzidos, superando a performance de protocolos tradicionais como HTTP em cenários de monitoramento em tempo real.

Quanto à estabilidade da conexão, o microcontrolador NodeMCU ESP8266 demonstrou robustez na manutenção do enlace Wi-Fi. A implementação da rotina de “batimento cardíaco” (Heartbeat) no firmware desempenhou um papel duplo na estabilidade: além de impedir o desligamento automático da fonte de alimentação portátil (Power Bank) por baixa corrente, a comunicação periódica (a cada 10 segundos) serviu para manter a sessão de rede ativa (Keep Alive). Durante os testes contínuos, não foram observadas desconexões ou falhas de envio que comprometessem a confiabilidade do alerta, confirmando a viabilidade técnica da arquitetura proposta para operação ininterrupta.

## Usabilidade da Interface de Monitoramento

A avaliação da interface de usuário (*dashboard*) focou na clareza da informação e na facilidade de interpretação por pessoas não técnicas. A adoção da metáfora visual de “semáforo” mostrou-se altamente eficaz para a comunicação de risco. Durante os testes de validação, observou-se que a codificação por cores conforme apresentado na Figura 8 — Verde (Nível Normal), Amarelo (Atenção) e Vermelho (Crítico) — elimina a necessidade de o usuário interpretar dados numéricos brutos ou gráficos complexos, permitindo a compreensão instantânea da situação do rio. Macedo et al., (2021, p.15) corroboram essa abordagem ao demonstrar que interfaces gráficas com indicadores visuais “possibilitam a visualização visual de eventos críticos”, facilitando a identificação imediata de situações de alerta e a tomada de decisão.

Outro aspecto central da usabilidade foi o método de acesso. Diferente de soluções comerciais que exigem o download e instalação de aplicativos dedicados (que ocupam espaço na memória e dependem de compatibilidade com sistemas operacionais Android ou iOS), a solução desenvolvida optou pelo acesso via web. O link público gerado pela plataforma Adafruit IO funcionou como uma aplicação universal, acessível através de qualquer navegador de internet (browser) em smartphones, tablets ou computadores.

Aguirre (2017) destaca que a computação móvel é uma ferramenta poderosa para a gestão de riscos, mas sua efetividade depende da remoção de barreiras de entrada. A estratégia de “acesso por link” (URL) facilitou a distribuição da ferramenta em grupos de mensagens instantâneas da comunidade, garantindo que a informação chegasse rapidamente ao maior número de pessoas possível, sem a fricção de cadastros ou configurações prévias por parte do usuário final.

## Análise de Custo-Benefício e Replicabilidade

Um dos pilares centrais deste trabalho foi o desenvolvimento de uma solução economicamente viável para municípios com restrições orçamentárias, visando a democratização do acesso à tecnologia de monitoramento. Para validar essa premissa, realizou-se o levantamento dos custos de todos os componentes utilizados na construção do protótipo, considerando os preços médios de mercado praticados no Brasil em 2025.

A Tabela 2 apresenta o detalhamento dos custos, demonstrando que o investimento total para a implementação de uma unidade de monitoramento é acessível, mesmo com a inclusão de uma fonte de energia autônoma (Power Bank).

Item	Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
1	Microcontrolador NodeMCU ESP8266 (Lolin v3)	1	30,00	30,00
2	Sensor de Nível tipo Bóia (On/Off)	3	22,00	66,00
3	Protoboard 400 Pontos	1	14,00	14,00
4	Kit de Cabos Jumper (Macho-Fêmea)	1 (kit)	13,00	13,00
5	Bateria Portátil (Power Bank) 10.000mAh	1	52,00	52,00
<b>TOTAL</b>				<b>175,00</b>

Tabela 2 – Custo detalhado dos componentes do protótipo

Fonte: Dados da pesquisa, com base em preços médios do comércio eletrônico brasileiro (2025).

A análise comparativa com soluções comerciais evidencia a eficiência econômica do projeto. Estações hidrológicas telemétricas convencionais, equipadas com sensores de nível e transmissão de dados via rede celular ou satélite, possuem custos de aquisição que frequentemente ultrapassam a marca de R\$15.000,00, sem considerar os custos recorrentes de licenças de software proprietário e manutenção especializada. O protótipo desenvolvido representa, portanto, um custo de implementação de aproximadamente 1,1% do valor de uma estação profissional equivalente.

Essa disparidade de custos viabiliza a adoção de uma estratégia de monitoramento distribuído e redundante. Em vez de concentrar o investimento em um único ponto de medição oficial, que pode apresentar falhas ou não cobrir toda a extensão da mancha de inundação, o município pode adquirir e instalar múltiplas unidades do sistema proposto.

Considerando o mapeamento de suscetibilidade a inundações em Teófilo Otoni realizado por Ferraz et al., (2022), identificou-se que o risco afeta as planícies fluviais de três corpos hídricos principais: o Rio Todos os Santos, o Rio Santo Antônio

e o Rio São Jacinto. Diante disso, conclui-se que a solução é plenamente replicável e escalável. Recomenda-se a instalação de pelo menos três unidades do sistema nesses pontos críticos, criando uma rede de sensores de baixo custo que permitiria um monitoramento simultâneo e integrado das bacias, fornecendo à Defesa Civil e à população uma visão completa e em tempo real da evolução das cheias em toda a cidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho alcançou seu objetivo principal ao desenvolver e validar um protótipo funcional de monitoramento de níveis hídricos, demonstrando que a integração entre microcontroladores acessíveis, como o ESP8266, e plataformas de IoT gratuitas, como a Adafruit IO, é capaz de produzir soluções tecnológicas robustas com um custo de implementação inferior a R\$ 200,00. A validação experimental comprovou que o sistema detecta com precisão as variações de nível e transmite os alertas em tempo real, viabilizando a criação de uma rede de sensores distribuída pelos rios Todos os Santos, Santo Antônio e São Jacinto sem onerar os cofres públicos municipais.

Do ponto de vista social, a solução apresenta um impacto direto na segurança da população de Teófilo Otoni. Ao disponibilizar um painel de monitoramento público, acessível via smartphone e de fácil interpretação (visualização semafórica), o sistema rompe a dependência exclusiva dos alertas oficiais, que muitas vezes chegam com atraso. Essa democratização da informação proporciona às comunidades vulneráveis um tempo de reação crucial, permitindo a evacuação preventiva de pessoas e a salvaguarda de bens materiais antes que a inundação atinja as residências, atuando efetivamente na mitigação dos riscos.

Não obstante os resultados positivos, é imperativo reconhecer as limitações inerentes ao protótipo desenvolvido. O funcionamento do sistema permanece dependente da infraestrutura local, especificamente da disponibilidade de sinal Wi-Fi e de energia elétrica para a alimentação dos roteadores de internet. Em cenários de tempestades severas, onde cortes de energia e interrupções de telecomunicações são comuns, a transmissão de dados pode ser comprometida, exigindo redundâncias que não foram contempladas nesta etapa do projeto.

Como propostas para a continuidade desta pesquisa e aprimoramento da solução, sugere-se a implementação de um sistema de alimentação autônomo baseado em painéis solares fotovoltaicos, garantindo operação ininterrupta independente da rede elétrica. Recomenda-se também o desenvolvimento de um encapsulamento robusto com grau de proteção IP67 para proteger os componentes eletrônicos em ambientes externos hostis. Além disso, propõe-se a integração de módulos de

comunicação móvel (GSM/4G) ao microcontrolador, eliminando a dependência de redes Wi-Fi locais. Por fim, visando aumentar a proatividade do alerta, sugere-se a implementação de rotinas de disparo automático de mensagens via WhatsApp e SMS diretamente aos moradores, garantindo a entrega do aviso mesmo em situações de conectividade limitada e eliminando a necessidade de monitoramento passivo do painel.

## REFERÊNCIAS

- ACADÉMICAS, Formações; OU SITE, Link do Currículo. Inundações e alagamentos em meio urbano: uma perspectiva teórico-conceitual, em abordagem geomorfológica.
- AGUIRRE, Tiago Ferraz de Arruda e. **Gerência de risco de enchentes em cidades inteligentes**. 2017. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.
- ALEGRIA, Reyner CS et al., Water Sentinel: Protótipo Embarcado para Alerta de Alagamentos. In: **Conferência de Tecnologia do ICET (CONNECTech)**. SBC, 2025. p. 1-12.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2022**: informe anual. Brasília: ANA, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2018.
- CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Relatório Anual 2023**. São José dos Campos: CEMADEN, 2023.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS (CBMMG). **Relatório estatístico de ocorrências de alagamentos e enchentes em Minas Gerais – 2015/2025**. Belo Horizonte: CBMMG, 2025.
- FACCIONI FILHO, Mauro. **Internet das coisas**: livro digital. Palhoça: UnisulVirtual, 2016.
- FERRAZ, Caio Mario Leal et al., Uso de geotecnologias para mapeamento da suscetibilidade a inundações e escorregamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais: potencialidades e limitações. **Revista Vozes dos Vales**, Teófilo Otoni, n. 14, ano VII, p. 1-31, out. 2018.
- FERRAZ, Caio Mário Leal. Inundações e alagamentos em meio urbano: uma perspectiva teórico-conceitual, em abordagem geomorfológica. *Revista Vozes dos Vales*, Teófilo Otoni, n. 20, ano X, p. 1-16, out. 2021.

FERRAZ, Caio Mario Leal et al., Inundações e alagamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil, segundo indicadores geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 1894-1911, out./dez. 2022.

GALVÃO, Julio Cesar de Freitas et al., **Sistema supervisório implementado com IoT na indústria utilizando ESP8266**. 2022. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022.

HELAL, Alan Afif et al., EstAcqua: Proposta de solução integrada de Hardware, Software e Internet das Coisas para monitoramento ambiental. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS (SBRC)**, 36., 2018, Campos do Jordão. **Anais** [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticia.ibge.gov.br>. Acesso em: set. 2025.

LEAL, Gesiane Ferreira. **WaterManna: a IoT na gestão de recursos hídricos**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.

MACEDO, Gabriel Maia de et al., Solução de IoT para monitoramento elétrico de UPS em ambiente de data center. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 29691-29708, mar. 2021.

MACHADO, Silvestre Sales et al., Implementation of Internet of Things (IoT) in the Management of Urban Socio-Environmental Disaster Risk. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, Miami, v. 19, n. 2, p. 1-21, e011428, 2025.

MOREIRA, Paulo Henrique Sala et al., Microcontrolador Arduino no aprimoramento do aplicativo Alerta Brusque sobre as cheias do Rio Itajaí-Mirim na prevenção a desastres naturais. **Anais da Semana de Formação Acadêmica e Científica e Cultural e Humanística (FACCHU-IFC Campus Brusque)**, v. 1, n. 1, 2019.

MOURA, Lucas. **O papel da Inteligência Artificial no monitoramento e prevenção de desastres ambientais**. 2025. Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2025.

NARCISO, Mateus et al., Sistema de alarmes para enchentes. **Anais da Exposição Anual de Tecnologia, Educação, Cultura, Ciências e Arte do Instituto Federal de São Paulo**, Guarulhos, v. 3, 2023.

NASCIMENTO, Jaime Ferreira do; CICHACZEWSKI, Ederson. Internet das coisas (IoT) aplicada ao monitoramento do nível de água em reservatórios domésticos. **Caderno Progressus**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 34-48, 2021.

OLIVEIRA, M. T. Uso de tecnologias de baixo custo em sistemas de monitoramento ambiental. **Caderno de Engenharia de Computação**, v. 17, n. 1, p. 77-89, 2019.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Como Construir Cidades Mais Resilientes**: Um Guia para Gestores Públicos Locais. Genebra: Nações Unidas, 2012.

PINHO, C. M. Impactos de eventos extremos em populações vulneráveis. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 45-58, 2025.

SANTOS, Carlos Renato Borges dos; BORGES, Eleyde Pereira Carvalho. Sistema de monitoramento de baixo custo para galpões avícolas de pequeno porte utilizando IoT. **ForScience**, Formiga, v. 10, n. 1, e01116, jan./jun. 2022.

SILVA, P. R.; MARQUES, C. H. Ocupação urbana e vulnerabilidade a enchentes em cidades médias brasileiras. **Revista Brasileira de Planejamento Urbano**, v. 8, n. 2, p. 95-109, 2020.

TEIXEIRA, Marco Antonio Simões et al., Monitoramento de nível de rio utilizando microcomputador, sensor ultrassônico e comunicação celular. In: CONGRESSO NACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA (INOVA), 2., 2017, São Bento do Sul. **Anais** [...]. São Bento do Sul: [s.n.], 2017.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Org.). Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2003.