

Tarefa: IoT no contexto da sustentabilidade

Autores: Jorge Wilker Mamede de Andrade e
Mauricio Lasca Gonçales

Turma: Campinas, 17 de maio de 2025

SisCalhas: Sistema de monitoramento contínuo de prevenção a entupimentos e transbordamentos

Introdução ao Problema e Contexto

O sistema de calhas e tubulações é fundamental para captar e conduzir a água das chuvas, evitando transtornos. No entanto, a natureza age sobre esse sistema, fazendo com que folhas, plásticos e sujeiras trazidas pelo vento se acumulem nas calhas. Esse acúmulo pode causar entupimentos. As fontes indicam que a manutenção, que inclui a limpeza, é necessária para garantir o funcionamento correto do sistema. A recomendação geral é que as calhas sejam limpas periodicamente, a cada seis meses, pelo menos. Em ambientes com densa vegetação ou que sofrem constantemente com ventos, a frequência da manutenção deve ser maior. Essa abordagem, baseada em períodos fixos ou observação visual, caracteriza uma **manutenção preventiva**.

Requisitos e Descrição da Solução IoT

Propomos um sistema de **manutenção preditiva** para calhas e condutores, visando evitar transbordamentos e reduzir a necessidade de visitas técnicas preventivas agendadas. O sistema deve monitorar o estado das calhas (como nível de água ou acúmulo de detritos) em tempo real para identificar a necessidade real de limpeza ou reparo antes que problemas como transbordamentos ocorram.

A solução de IoT proposta seria baseada em uma arquitetura em camadas:

- **Camada de Sensores (Sensor Layer):** Responsável pela coleta de dados físicos do ambiente. Neste projeto, sensores ultrassônicos resistentes à água, como o HC-SR04 waterproof, são utilizados para medir a distância até o fundo da calha, indicando o nível de detritos ou água acumulada. Esses

sensores funcionam com tensão de 5V e são adequados para ambientes externos úmidos.

- **Camada de Conectividade (Connectivity Layer):** Interliga os sensores ao sistema de processamento. O microcontrolador ESP32, com conectividade Wi-Fi integrada, é utilizado para transmitir os dados coletados pelos sensores até o próximo nível da arquitetura, garantindo comunicação sem fio eficiente.
- **Camada de Borda (Border Layer):** Nesta camada ocorre o pré-processamento local dos dados. O ESP32 atua como unidade de borda (edge device), interpretando os sinais dos sensores e executando algoritmos simples para detectar condições de risco, como obstruções ou transbordamentos iminentes. Quando um limiar crítico é alcançado, um alerta é gerado.
- **Camada de Armazenamento (Storage Layer):** Após o processamento inicial, os dados relevantes são enviados para um serviço de nuvem, onde são armazenados de forma estruturada. Isso permite o registro histórico das medições e a realização de análises em longo prazo. Soluções como Firebase, AWS, ou bancos de dados como MongoDB e InfluxDB podem ser utilizadas para esse fim.
- **Camada de Abstração (Abstraction Layer):** Serve como intermediária entre os dados armazenados e a interface do usuário. É responsável por processar, organizar e transformar os dados brutos em informações compreensíveis. Pode envolver o uso de APIs, funções em nuvem ou serviços de backend que interpretam os dados, geram relatórios ou agrupam os alertas por localização e urgência.
- **Camada de Exibição (Display Layer):** A interface de interação com o usuário. Os alertas e informações processadas são disponibilizados por meio de aplicativos móveis, dashboards web ou notificações automatizadas (como e-mails ou mensagens instantâneas). Essa camada garante que o usuário ou a equipe de manutenção tenha acesso rápido e claro às informações necessárias para a tomada de decisão.

Especificações e Operação

O sistema funciona da seguinte forma: os sensores ultrassônicos, conectados ao ESP32, medem continuamente o nível dentro da calha ou condutor. O ESP32 processa essa informação. Quando o nível atingir um limiar pré-configurado, indicando um possível acúmulo ou início de obstrução, o sistema gera um alerta. Este alerta é enviado para um serviço de nuvem (camada de Armazenamento e Abstração) e, finalmente, exibido para o usuário ou equipe de manutenção (camada de Exibição). Isso permite que a manutenção seja acionada de forma **preditiva**,

apenas quando necessário, em vez de seguir um cronograma fixo de manutenção preventiva.

Impacto Positivo ao Consumidor e Benefícios Adicionais

O principal benefício para o consumidor final é a **eliminação da necessidade de visitas técnicas preventivas agendadas rotineiramente**. Em vez de limpar as calhas a cada seis meses ou mais frequentemente apenas por precaução, o sistema monitora a condição real e solicita intervenção apenas quando há um risco iminente de transbordamento ou entupimento. Isso gera comodidade, pois o consumidor não precisa se preocupar com o agendamento periódico nem com visitas desnecessárias. A manutenção passa a ser baseada na condição ('condition-based maintenance'), otimizando o tempo e os recursos.

Além dos consumidores residenciais, este sistema seria particularmente benéfico para **grandes edifícios e instituições**, incluindo **instituições públicas**. Tais entidades frequentemente possuem extensos sistemas de calhas e condutores e podem ter dificuldades em gerenciar a manutenção preventiva periódica de forma eficaz, por falta de pessoal, orçamento ou simplesmente por negligência devido à escala. Um sistema de monitoramento preditivo como o proposto fornece dados claros sobre quais partes do sistema precisam de atenção, permitindo uma alocação mais eficiente de recursos e evitando danos dispendiosos causados por transbordamentos não previstos.

Soluções já existentes

- <https://zensy.io/whats-zensy/>
O Zensy é um sistema norueguês que monitora calhas e drenos de telhado usando IA e câmeras sem fio com LTE-M. Realiza inspeções diárias, detecta obstruções e envia alertas. É fácil de instalar, permite gestão remota via plataforma web e integração com outras soluções prediais, promovendo economia e sustentabilidade.
- <https://blog.semtech.com/smart-drain-grate-monitoring-enhancing-efficiency-with-iiot-and-lorawan>
O artigo da Semtech descreve uma solução de monitoramento inteligente de grelhas de drenagem com sensores ultrassônicos WILSEN.sonic conectados via LoRaWAN. Esses sensores detectam entupimentos em tempo real, permitindo manutenção proativa. A tecnologia garante baixo consumo de energia, longa duração da bateria (até 10 anos) e fácil escalabilidade para aplicação em áreas urbanas.
- <https://myriota.com/br/flexsense/>

O Myriota FlexSense é um dispositivo IoT com comunicação via satélite, ideal para monitoramento em áreas remotas. Resistente (IP67) e com bateria de longa duração (mais de 5 anos), possui múltiplas interfaces para sensores e é fácil de configurar via app. É usado em setores como agricultura, recursos hídricos e mineração, operando sem depender de redes celulares.

Sustentabilidade

A implementação de um sistema de manutenção preditiva para calhas e condutores baseado em IoT, como o proposto, impacta positivamente a sustentabilidade de diversas formas, indo além da simples conveniência e economia para o consumidor. Ao acionar a manutenção apenas quando um acúmulo significativo de detritos ou água é detectado, em contraste com a manutenção preventiva baseada em períodos fixos, contribui para a sustentabilidade ao:

1. **Reduzir o consumo de recursos:** Ao evitar limpezas desnecessárias, há uma diminuição no uso de água e de produtos de limpeza que seriam empregados em manutenções periódicas agendadas, mesmo que as calhas não estivessem efetivamente entupidas ou com risco iminente de transbordamento.
2. **Minimizar a geração de resíduos desnecessários:** Embora a sujeira removida (folhas, plásticos) precise ser descartada independentemente, a otimização da frequência de manutenção significa menos deslocamentos de equipes e veículos para realizar o serviço, reduzindo o consumo de combustível e as emissões associadas.
3. **Prevenir danos estruturais e ao ambiente:** Transbordamentos causados por calhas obstruídas podem levar a danos à edificação, infiltrações, erosão do solo ao redor da estrutura e danos à paisagem. A prevenção desses eventos através do monitoramento preditivo evita a necessidade de reparos extensivos, que demandam materiais de construção e geram resíduos.
4. **Otimizar o uso de mão de obra e logística:** A manutenção preditiva garante que as equipes de manutenção sejam acionadas apenas quando e onde são realmente necessárias. Isso otimiza rotas, reduz tempo de deslocamento e aumenta a eficiência operacional, diminuindo a pegada ambiental das empresas de manutenção.
5. **Potencialmente aumentar a vida útil do sistema:** Manter as calhas e condutores livres de obstruções de forma mais eficaz e tempestiva, evitando

o acúmulo excessivo que pode sobrecarregar e danificar as estruturas ao longo do tempo, pode contribuir para a longevidade do sistema de drenagem.

Escalabilidade

A escalabilidade do projeto apresenta pontos positivos para aplicações de pequeno e médio porte, mas também traz algumas limitações em cenários mais amplos. O uso de Wi-Fi como meio de comunicação é vantajoso por sua simplicidade de implementação e ampla disponibilidade em ambientes residenciais e comerciais. No entanto, essa tecnologia possui limitações de alcance — geralmente até 30 metros em ambientes internos — e de capacidade de conexão simultânea, o que pode comprometer a estabilidade da rede em locais com muitos dispositivos. Para aplicações em grande escala, como áreas industriais ou zonas rurais, o projeto poderia ser aprimorado futuramente com o uso de tecnologias mais adequadas, como LoRa, ZigBee ou NB-IoT, que oferecem maior alcance e eficiência energética. Do ponto de vista do hardware, a escolha do ESP32 aliada a sensores ultrassônicos resistentes à água mostra-se bastante apropriada para um sistema modular e replicável. O ESP32 permite conectar múltiplos sensores, realizar o pré-processamento dos dados e enviá-los para a nuvem, operando de forma autônoma em cada ponto de coleta. Essa arquitetura descentralizada permite que o sistema seja expandido com a adição de novos nós monitorando diferentes calhas ou setores, sem a necessidade de reconfiguração do sistema como um todo. Além disso, a escalabilidade é reforçada pela possibilidade de integração com plataformas de gerenciamento em nuvem, o que permite controlar e monitorar múltiplos dispositivos de forma centralizada.

Segurança

A segurança do sistema proposto é um aspecto fundamental, especialmente por se tratar de uma solução conectada à internet e que envolve monitoramento remoto com possibilidade de atualização de firmware via OTA. Para garantir a integridade e a confiabilidade da operação, é essencial adotar práticas que protejam tanto os dados transmitidos quanto os dispositivos físicos. Em primeiro lugar, a comunicação entre os sensores, o microcontrolador ESP32 e a nuvem deve ser protegida por protocolos seguros, como HTTPS ou MQTT com TLS, a fim de evitar interceptações, invasões e adulterações de dados. A autenticação de dispositivos também é crucial para impedir que unidades não autorizadas se conectem à rede ou interfiram no funcionamento do sistema. No caso das atualizações OTA, a segurança torna-se ainda mais sensível, já que a troca de firmware remotamente pode ser explorada por agentes maliciosos caso não haja mecanismos adequados de proteção. Por isso, é imprescindível que o firmware seja assinado digitalmente, permitindo que o dispositivo verifique a autenticidade e a integridade do código antes de aplicá-lo. Além disso, o controle de permissões de acesso e o uso de

chaves criptográficas exclusivas por dispositivo são estratégias eficazes para mitigar riscos. Outro ponto importante diz respeito à proteção física e lógica do microcontrolador. Configurações como desabilitação do acesso por debug e armazenamento seguro de credenciais no dispositivo são medidas adicionais que reforçam a segurança geral da solução.

Escolha de Hardware (Camadas 1-3)

Na Camada de sensores para esse projeto foi implementado um sensor ultrassônico resistentes à água, o HC-SR04 waterproof que é ideal para medir a distância até o fundo da calha, indicando o nível de detritos ou água acumulada. Funciona numa tensão de 5V e são adequados para ambientes externos úmidos. Na **camada de borda**, o ESP32 atua como unidade de processamento local (edge device), sendo responsável por executar algoritmos simples, filtrar informações relevantes e encaminhá-las à nuvem ou a sistemas de monitoramento, funcionando como o 'cérebro' do sistema na borda da rede. Devido à sua versatilidade, baixo custo e ampla compatibilidade com aplicações IoT, ele é capaz de se comunicar eficientemente com sensores ultrassônicos, realizando a leitura e interpretação dos dados coletados (camada de sensores), além de possuir conectividade nativa via **Wi-Fi** e **Bluetooth**, o que o torna ideal para a **camada de conectividade**.

Bibliografia

- FERNANDO K TECNOLOGIA. Sensor ultrassônico com ESP32 - Parte 1. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Rx3hkcfDL8Q>
- NACIONAL METAIS. Cuidados e prevenção: como efetuar a manutenção de calhas. Blog Nacional Metais, 15 jul. Disponível em: <https://nacionalmetais.com/cuidados-e-prevencao-como-efetuar-a-manutencao-de-calhas/>
- WR KITS. SENSOR ULTRASSÔNICO RESISTENTE À ÁGUA. YouTube Channel WR Kits. <https://www.youtube.com/watch?v=A1zTalvWoGw&t=4s>