

# Projeto Fase I - HydrAlon: Sistema IoT com IA para Monitoramento da Qualidade da Água

## Objetivos e Justificativa da Proposta do Projeto:

O projeto HydrAlon tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema inteligente, cooperativo e autônomo para o monitoramento contínuo da qualidade da água em rios e canais urbanos. A proposta visa integrar sensores flutuantes e fixos, equipados com capacidades de computação embarcada e comunicação de baixa potência, a fim de poder fornecer todos os dados ambientais em tempo real com alta confiabilidade, bem como com elevada acurácia e eficiência energética.

A justificativa da proposta está essencialmente centrada na crescente necessidade de monitoramento ambiental em regiões urbanas densamente povoadas e sujeitas a eventuais contaminações hídricas. O sistema tem o propósito de superar as limitações atuais relacionadas à conectividade intermitente, consumo elevado de energia e dificuldade de manutenção de equipamentos em ambientes fluviais.

Por meio do uso de redes *mesh* baseadas em LoRa e inferência local via *TinyML*, o HydrAlon propõe uma solução resiliente, escalável e de baixo custo operacional, com autonomia energética para operação contínua por até 12 meses.

## Cronograma das Atividades (5 meses):

O cronograma de execução do projeto HydrAlon foi delineado a fim de garantir a progressão lógica e integrada das atividades, assegurando o desenvolvimento gradual, a validação técnica e a entrega dos produtos conforme os prazos estabelecidos. As etapas estão distribuídas ao longo de 5 meses consecutivos, contemplando desde o planejamento inicial até a validação prática em campo, conforme descrito a seguir:

### 1. Mês 1 - Planejamento e Arquitetura do Sistema:

- a. Levantamento de requisitos técnicos e definição da arquitetura híbrida (sensores flutuantes e fixos);
- b. Seleção criteriosa dos sensores ambientais com base na relevância hidrológica e compatibilidade com o microcontrolador embarcado;
- c. Definição dos parâmetros de coleta e critérios de desempenho do sistema.

### 2. Mês 2 - Prototipagem e Testes Iniciais:

- a. Montagem e prototipagem dos módulos sensoriais com integração dos microcontroladores ESP32;
  - b. Implementação do TinyML embarcado para execução de inferência local com base em modelos previamente treinados;
  - c. Testes laboratoriais dos sensores para aferição de precisão e estabilidade.
- 3. Mês 3 - Comunicação Mesh e Validação Cooperativa:**
- a. Integração dos módulos à rede mesh LoRa, com topologia colaborativa e redundante;
  - b. Implementação do protocolo MQTT adaptado ao contexto de baixo consumo energético;
  - c. Simulações de falhas e testes de validação cruzada entre nós sensoriais com algoritmos de consenso IA.
- 4. Mês 4 - Integração com Nuvem e Interface de Visualização:**
- a. Desenvolvimento da comunicação entre os gateways e o ambiente em nuvem (Firebase);
  - b. Criação do painel interativo com mapas georreferenciados via LeafletJS;
  - c. Implementação de alertas automatizados para situações críticas via Telegram.
- 5. Mês 5 - Validação em Campo e Consolidação dos Resultados:**
- a. Instalação dos protótipos no Canal do Cavouco (Recife/PE);
  - b. Simulações de cenários reais de anomalia e aferição da resposta do sistema;
  - c. Elaboração do relatório técnico, consolidação dos dados coletados e produção do vídeo demonstrativo final.

## **Diagrama de Blocos de Arquitetura do Sistema:**

O diagrama de blocos a seguir representa, de maneira sistemática, a arquitetura funcional do sistema HydrAlon, delineando os principais módulos e fluxos de informação que compõem a solução tecnológica proposta. Cada bloco desempenha uma função específica e articulada, promovendo um fluxo de dados contínuo e eficiente desde a coleta até a visualização e análise inteligente das informações. A descrição detalhada dos componentes é apresentada a seguir:

### **1. Módulo Sensor Inteligente (Flutuante ou Estacionário)**

- a. **Componentes:** Microcontrolador ESP32, sensores ambientais (pH, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura e condutividade elétrica), TinyML embarcado.
- b. **Função:** Realiza a coleta local dos parâmetros da qualidade da água e executa a classificação preliminar desses dados em tempo real por meio de modelos de inferência embarcada, otimizando a transmissão ao reduzir a quantidade de dados redundantes.

## 2. Camada de Comunicação (Rede Mesh LoRa)

- a. **Tecnologia:** Comunicação LoRa utilizando topologia mesh e protocolo MQTT otimizado para ambientes de baixa energia.
- b. **Função:** Transmite os dados entre os módulos sensores e os gateways por meio de uma rede cooperativa, tolerante a falhas e com redundância. Essa arquitetura possibilita o roteamento eficiente mesmo em ambientes com obstáculos urbanos.

## 3. Gateway de Agregação e Transmissão

- a. **Componentes:** ESP32 com módulo LoRa e conectividade 4G/5G ou Wi-Fi.
- b. **Função:** Atua como ponto de convergência da rede, recebendo os dados dos nós sensores e retransmitindo-os para a nuvem. Também realiza tarefas básicas de pré-processamento e verificação de integridade dos pacotes.

## 4. Serviço de Validação e Consenso Inteligente

- a. **Lógica:** Algoritmo de consenso distribuído, baseado em aprendizado federado e validação cruzada entre múltiplos nós sensoriais.
- b. **Função:** Garante a confiabilidade dos dados reportados por meio da checagem entre agentes próximos. Apenas medições consistentes entre três ou mais sensores são consideradas válidas, mitigando falsos positivos e ruídos.

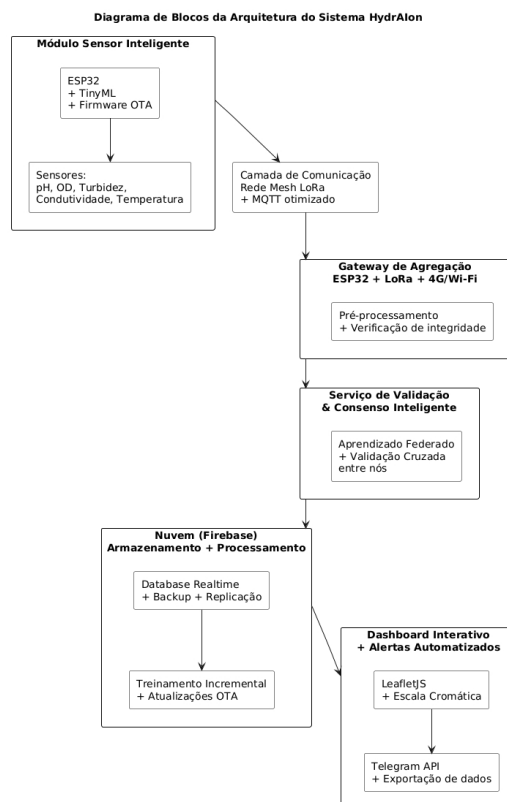
## 5. Camada de Armazenamento e Processamento em Nuvem

- a. **Infraestrutura:** Firebase Realtime Database, com backup local e replicação automatizada.
- b. **Função:** Centraliza, organiza e versiona os dados coletados, proporcionando alta disponibilidade e segurança da informação. É nesta camada que se dá o treinamento incremental dos modelos TinyML, com suporte a atualizações OTA (Over-The-Air).

## 6. Dashboard Interativo e Sistema de Alertas

- a. **Ferramentas:** Integração entre Firebase, LeafletJS e Telegram.
- b. **Função:** Proporciona visualização georreferenciada dos dados em tempo real com indicadores de qualidade da água em escala de cores. Em situações críticas, envia notificações automáticas para comunidades locais e órgãos de fiscalização ambiental.

Esse diagrama trata de sintetizar a integração harmônica entre hardware, algoritmos de inteligência artificial embarcada, comunicação em rede e visualização dos dados, formando um ecossistema robusto para o monitoramento ambiental urbano em tempo real, com alta autonomia e confiabilidade.



## Prototipagem Eletrônica:

A etapa de prototipagem do sistema HydrAlon compreende o desenvolvimento e a montagem dos módulos sensoriais flutuantes e estacionários, dotados de uma infraestrutura física e lógica compatível com operação prolongada em ambientes hídricos urbanos. Cada unidade será encapsulada com invólucro de grau de proteção IP67 de modo a poder conferir resistência à umidade, poeira e intempéries, conforme os padrões técnicos para dispositivos de campo.

Os módulos serão constituídos pelos seguintes elementos:

- **Microcontrolador embarcado:** ESP32, selecionado por sua capacidade de processamento local, baixo consumo energético e compatibilidade com comunicação LoRa e execução de algoritmos TinyML.
- **Sensores ambientais integrados:**
  - Sensor de pH, para medição do potencial hidrogeniônico da água;
  - Sensor de turbidez, para identificação de sólidos em suspensão;
  - Sensor de oxigênio dissolvido (OD), com aplicação na avaliação da qualidade ecológica do corpo hídrico;
  - Sensor de condutividade elétrica, indicativo da presença de íons dissolvidos e de potenciais agentes contaminantes;
  - Sensor de temperatura, essencial para a contextualização dos demais parâmetros físico-químicos.

- **Estrutura física:** suporte modular com materiais resistentes à corrosão, fluabilidade controlada e possibilidade de fixação segura em margens ou estruturas fluviais.
- **Sistema de alimentação:** célula fotovoltaica de alta eficiência acoplada a bateria Li-Ion recarregável, possibilitando operação contínua, com autonomia estimada superior a 12 meses.
- **Firmware embarcado:** otimizado para regimes de operação em duty cycle, priorizando eficiência energética, resposta rápida a eventos e suporte a atualizações OTA (Over-The-Air).

## Transmissão de Dados (IoT):

A rede de transmissão de dados será implementada com base na tecnologia LoRa, operando em topologia mesh (em malha), com suporte a protocolos de comunicação leves e tolerantes a falhas. O objetivo é poder garantir conectividade robusta em ambientes urbanos com obstáculos físicos e variações de sinal.

- **Topologia da rede:** malha colaborativa, com nós sensores atuando também como retransmissores, permitindo redundância e reconfiguração dinâmica da rota de dados.
- **Protocolo de comunicação:** MQTT adaptado para redes LoRa, com pacotes compactos e confirmação de entrega eficiente em redes de baixa largura de banda.
- **Gateways de borda:** dispositivos ESP32 equipados com módulo LoRa e conexão 4G/5G ou Wi-Fi, responsáveis por agregar os dados coletados e encaminhá-los à camada de nuvem.
- **Gerência de pacotes:** sistema de verificação de integridade e reenvio automático em caso de falha, assegurando confiabilidade dos dados transmitidos.

## Integração com Inteligência Artificial:

A inteligência embarcada nos sensores permitirá a classificação preliminar dos dados no próprio dispositivo, reduzindo a necessidade de transmissão constante de grandes volumes de dados brutos e priorizando eventos relevantes.

- **Tecnologia TinyML:** utilização de modelos leves de aprendizado de máquina executados localmente nos ESP32;
- **Inferência em tempo real:** os parâmetros medidos são avaliados de acordo com faixas de normalidade e classificados como "bom", "regular" ou "crítico";

- **Validação cruzada descentralizada:** mecanismos de verificação entre múltiplos sensores próximos (mínimo de três) asseguram a consistência das medições, fortalecendo a resiliência contra falhas ou leituras espúrias;
- **Atualização dos modelos:** reentrenamento incremental e distribuição por meio de atualizações OTA, com base em dados coletados no campo e processados em nuvem.

## Dashboard e Alertas:

Os dados validados irão ser apresentados em um painel interativo georreferenciado, oferecendo uma visualização clara e acessível da situação hídrica em tempo real. O sistema incluirá mecanismos automáticos de alerta, isto é: em caso de detecção de anomalias.

- **Plataforma de visualização:** painel desenvolvido com LeafletJS, integrado ao Firebase Realtime Database, apresentando os pontos de monitoramento sobre mapas interativos;
- **Indicadores visuais:** escala cromática intuitiva representa os níveis de qualidade da água, permitindo rápida interpretação por técnicos, gestores e usuários externos;
- **Sistema de alertas:** integração com a API do Telegram para proceder com o envio automatizado de notificações às autoridades ambientais e comunidades impactadas;
- **Exportação de dados:** funcionalidade de extração dos dados em formatos padronizados (CSV, JSON), para análise externa e acervo institucional.

## Lugar de Instalação do Protótipo:

A instalação do protótipo ocorrerá no **Canal do Cavouco**, em Recife/PE. A escolha se justifica por se tratar de um corpo hídrico com representatividade ambiental e ser de localização estratégica em área urbana, permitindo:

- Testes operacionais em condições reais de fluxo hídrico contínuo;
- Avaliação da resistência estrutural dos módulos tanto frente às intempéries quanto os resíduos flutuantes;
- Interação com a população do entorno e órgãos públicos, fomentando a adesão ao monitoramento participativo.

**Equipe:**

- Gustavo Souto Silva de Barros Santos.
  - Vínculo: Faculdade Nova Roma - FNR;
  - Email: gustavosouto004@gmail.com

**Entrega:**

- Relatório técnico e vídeo de apresentação: 02/05/2025 via Google Classroom.