



# I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento  
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

## **AQUAVISION: PLATAFORMA GEOANALÍTICA E PREDITIVA PARA GESTÃO OPERACIONAL DE BARRAGENS E PLUVIOMETRIA EM PERNAMBUCO**

*José Roberto Freire Rêgo Lima<sup>1</sup>; Artur Ricardo Macedo dos Santos<sup>2</sup>; Danilo Arruda Vaz de Oliveira<sup>3</sup>; Fábio Lourenço<sup>4</sup>; Alexandre De Souza Junior<sup>5</sup> Marcos Antônio Tenório<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>COMPESA – Recife-PE; <sup>2</sup>COMPESA; <sup>3</sup>COMPESA; <sup>4</sup>COMPESA; <sup>5</sup>COMPESA; <sup>6</sup>COMPESA

**Palavras-chave:** gestão preditiva, barragens, pluviometria, geointeligência, machine learning, segurança hídrica.

### **INTRODUÇÃO**

A gestão de recursos hídricos em contextos de variabilidade climática e recorrência de eventos extremos exige capacidade institucional para antecipar riscos, integrar dados e converter informação em decisão operacional. Em Pernambuco, a dependência das chuvas para a produção de água e a fragmentação de bases de dados operacionais e hidrometeorológicas aumentam a latência e reduzem a resolução das análises necessárias para operação e planejamento. O Projeto AquaVision propõe uma plataforma integrada de dados de chuvas, níveis de barragens e bacias hidrográficas, com funcionalidades de monitoramento em tempo real, análise histórica, previsões por modelos de aprendizado de máquina e simulação de cenários, visando apoiar decisões proativas e melhorar a resiliência do abastecimento.

O enquadramento do AquaVision se alinha ao paradigma internacional de “digital water” e à aplicação de gêmeos digitais como suporte operacional e inteligência de decisão. A proposta incorpora boas práticas de gestão de dados e interoperabilidade (padrões OGC e princípios FAIR), reduzindo dependência de processos manuais e aumentando reprodutibilidade, rastreabilidade e escalabilidade do sistema.

### **METODOLOGIA**

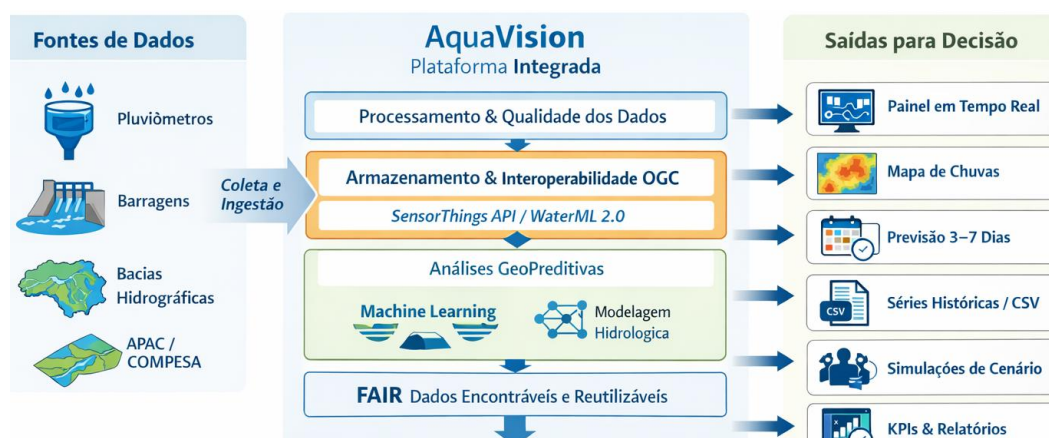
A metodologia é estruturada em quatro camadas: (i) dados e integração; (ii) governança e interoperabilidade; (iii) analítica preditiva e simulações; e (iv) visualização e apoio à decisão.

(i) Dados e integração: ingestão de séries temporais de níveis/volumes e vazões de saída de barragens complementadas por dados de sensoriamento remoto (altimetria espacial e extensão de água) para preenchimento de lacunas (gap-filling) em locais sem telemetria, e acumulados pluviométricos por estação, com mapeamento espacial (coordenadas) e vinculação às bacias contributivas.

(ii) Governança e interoperabilidade: organização dos dados segundo práticas FAIR, uso de metadados e versionamento; publicação/consumo por APIs e padrões geoespaciais e hidrológicos (e.g., OGC SensorThings API para observações e WaterML 2.0 para intercâmbio de dados hidrológicos), permitindo integração com sistemas corporativos.

(iii) Analítica preditiva e simulações: (a) espacialização de chuva acumulada com camada de mapa de calor baseada em KNN (k-nearest neighbors) para geração de uma malha interpolada de acumulados; (b) previsão de nível/volume de barragens para horizontes de 3 e 7 dias com modelos de machine learning, utilizando histórico de chuvas na bacia e vazões de saída como variáveis explicativas, recalibrado diariamente; (c) simulação de cenários de demanda (percentual ou absoluto) e comparação lado a lado.

(iv) Visualização e apoio à decisão: dashboards georreferenciados em tela única com severidade por cores, séries históricas interativas com exportação CSV e KPIs sistêmicos (volume disponível e dias úteis estimados), promovendo visão integrada para GCO/CCO, GPP e GPG. A arquitetura funcional e o fluxo de informação do AquaVision estão sintetizados na Figura 1.



**Figura 1 – Arquitetura funcional do AquaVision para monitoramento, análise preditiva e apoio à decisão na gestão hídrica.**

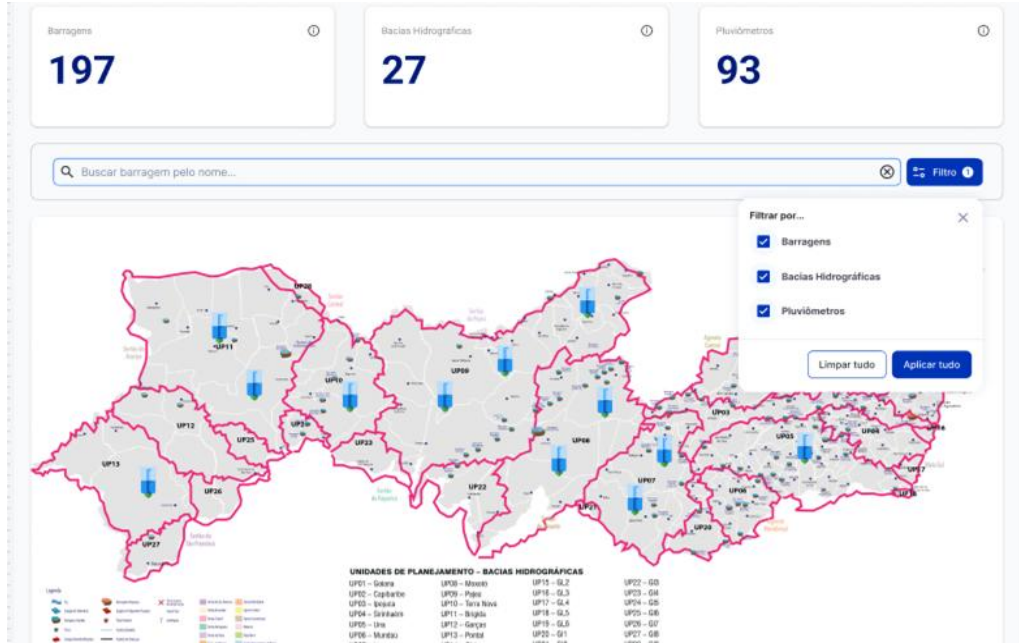
## RESULTADOS

Os resultados preliminares incluem a consolidação de requisitos funcionais e critérios de aceitação em seis histórias de usuário. Em síntese, o AquaVision contempla:

- Painel de barragens em tempo real (nível/volume, variação 24h, classificação por severidade), por reservatório.
- Painel de pluviometria em tempo real (acumulados por estação, camadas de bacias e mapa de calor por KNN), com filtros por bacia.
- Monitoramento de consistência das curvas Cota-Área-Volume (CAV) através de batimetria por satélite (ICESat-2/WOLP), permitindo correção dinâmica de volumes assoreados.
- Previsão de nível/volume para 3–7 dias com modelos de machine learning e recalibração diária, com alertas operacionais.
- Séries históricas (nível/vazão/chuva) com filtros e exportação, para análise e auditoria.
- Simulação de cenários de aumento de demanda (percentual ou absoluto) e comparação de cenários, lado a lado.
- Indicadores agregados sistêmicos (volume total disponível e dias úteis estimados de abastecimento), com visão executiva.

Como entregáveis técnicos para evolução do projeto, propõe-se: (a) arquitetura de referência do AquaVision; (b) protocolo de validação do componente preditivo com divisão temporal (treino/validação/teste), métricas (MAE/RMSE) e avaliação de eventos críticos (escassez/extravasamento); (c) análise de sensibilidade sobre número e distribuição de pluviômetros e impacto na espacialização de chuva; e (d) governança de dados e rastreabilidade de versões do modelo.

Em termos de alinhamento internacional, o AquaVision se posiciona como um “gêmeo digital operacional” orientado a decisão, ao combinar observações quase em tempo real, análise avançada e antecipação de risco, baseando-se em padrões abertos e práticas de interoperabilidade, favorecendo replicação e integração futura com alertas hidrológicos e produtos de previsão.



**Figura 2 – Painel geoespacial do AquaVision com distribuição de barragens, pluviômetros e bacias hidrográficas em Pernambuco.**



**Figura 3 – Painel analítico do AquaVision para monitoramento do nível da barragem, precipitação associada e previsão operacional.**

A Figura 2 apresenta a visão geoespacial integrada (barragens, bacias e pluviômetros) em escala estadual, enquanto a Figura 3 exemplifica o painel analítico aplicado a um reservatório, integrando precipitação, nível/capacidade e projeções operacionais. A Tabela 1 sintetiza a contribuição do AquaVision para o tema “Água para o Desenvolvimento”, conectando produtos do sistema a ganhos de governança, resiliência e prontidão operacional.

# CONCLUSÕES

O Projeto AquaVision endereça um gargalo clássico de gestão hídrica: transformar dados dispersos de chuvas e barragens em inteligência operacional de baixa latência e alta rastreabilidade. O framework proposto (integração + interoperabilidade + previsão + simulação) é compatível com práticas internacionais de digitalização do setor e cria base para decisões mais proativas frente à seca e a eventos extremos. Próximos passos: (i) seleção de um conjunto piloto de barragens para validação do modelo; (ii) integração incremental com fontes de dados de Observação da Terra, adotando a metodologia WOLP para atualização de batimetria sem medição in situ e algoritmos de correção de evapotranspiração (FANO) para refinar o balanço hídrico em regiões semiáridas; e (iii) formalização de governança, auditoria e monitoramento contínuo do desempenho (MLOps) para reduzir risco operacional.

**Tabela 1 – Contribuição do AquaVision para Segurança Hídrica e Gestão de Recursos Hídricos.**

| Elemento do AquaVision                               | Produto gerado                                    | Gestão hídrica                                                                                         |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monitoramento integrado (chuva + barragens + bacias) | Painel único em tempo real (status e tendências)  | Reduz latência decisória e melhora prontidão operacional frente a seca e eventos extremos              |
| Geointeligência pluviométrica (espacialização)       | Mapa de chuvas + heatmap por bacia                | Aumenta resolução espacial para priorizar sistemas produtores, alocar equipes e interpretar recarga    |
| Antecipação de risco (previsão 3–7 dias)             | Curva prevista de nível/volume + alertas          | Suporta gestão proativa (contingência, ajuste de vazões, comunicação de risco) e resiliência climática |
| Análise histórica e rastreabilidade                  | Séries históricas + exportação (CSV)              | Fortalece governança e transparência; viabiliza diagnóstico técnico e auditoria de decisões            |
| Planejamento por cenários (what-if)                  | Simulações de demanda e comparação de cenários    | Integra operação e planejamento; apoia medidas de economia/rodízio e priorização de investimentos      |
| Indicadores sistêmicos (KPIs)                        | Volume agregado; dias úteis estimados; relatórios | Fornece visão executiva e suporte à coordenação interinstitucional (água como ativo estratégico)       |

# AGRADECIMENTOS

Agradecemos à COMPESA, à UPE e à APAC pelo apoio institucional e disponibilização de bases de dados, e ao Programa Agentes Digitais (LIGA LABS) pela estrutura metodológica de inovação.

# REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA). Operational digital twins in the urban water sector: case studies. London: IWA, 2021.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (OGC). SensorThings API Part 1: Sensing. OGC Standard, 2016 (atualizações posteriores).

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (OGC). WaterML 2.0: Part 1–TimeSeries. OGC Standard, 2012 (atualizações posteriores).

WILKINSON, M. D. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Scientific Data, v. 3, 160018, 2016.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Global Hydrological Status and Outlook System (HydroSOS). Geneva: WMO, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Estudos sobre impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos do Brasil. Brasília: ANA/SNIRH, 2024.

MONITOR DE SECAS. Mapa e boletins de monitoramento da seca no Brasil. 2024.