

IoT-MQTT-Monitor: Uma Contribuição para Monitoramento e Análise de Padrões de Consumo de Água em Residências

Igor da R. Barros¹<https://orcid.org/0009-0004-1669-3988>

Roger Mendes¹<https://orcid.org/0009-0006-2037-7448>

Rogério Albandes¹<https://orcid.org/0000-0002-4114-2537>

¹Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação
Universidade Católica de Pelotas (UCPel)
Pelotas – RS – Brasil

{igor.barros, roger.mendes}@sou.ucpel.edu.br

rogerio.albandes@ucpel.edu.br

Abstract. *This work presents the IoT-MQTT-Monitor, an architecture for residential water consumption monitoring with a focus on data persistence. The proposal uses external nodes for flow acquisition and local storage, combined with an edge node responsible for processing and storing the information. The approach is event-oriented and incorporates asynchronous synchronization, allowing the later transmission of data accumulated during periods of disconnection. The results demonstrate the continuity of acquisition even in the absence of network, preserving data integrity and evidencing the decoupling between acquisition and transmission.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o IoT-MQTT-Monitor, uma arquitetura para monitoramento de consumo hídrico residencial com foco em persistência de dados. A proposta utiliza nós externos para aquisição de vazão e armazenamento local, aliados a um nó de borda responsável pelo processamento e armazenamento das informações. A abordagem é orientada a eventos e incorpora sincronização assíncrona, permitindo o envio posterior dos dados acumulados durante períodos de desconexão. Os resultados demonstram a continuidade da aquisição mesmo na ausência de rede, preservando a integridade dos dados e evidenciando o desacoplamento entre aquisição e transmissão.*

1. Introdução

A crescente demanda por soluções inteligentes para gestão de recursos hídricos tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas baseados em Internet das Coisas (IoT), capazes de monitorar o consumo em tempo real e apoiar a tomada de decisão [Balamurugan et al. 2025, Shankar et al. 2025, Farah and Shahrour 2024]. Em ambientes residenciais, esse monitoramento permite identificar padrões de uso e detectar anomalias, como vazamentos. Nesse contexto, trabalhos recentes exploram a integração entre IoT e inteligência artificial para análise de consumo [Li and Chen 2023, Chen et al. 2022].

Apesar dos avanços, essas soluções ainda dependem fortemente de conectividade contínua. Em cenários reais de computação ubíqua, falhas de comunicação podem comprometer a integridade das séries temporais e resultar em perda de dados

[Farah and Shahrour 2024]. Assim, torna-se necessário adotar estratégias que garantam a continuidade da aquisição mesmo na ausência de rede. Abordagens baseadas em persistência local e processamento em borda têm sido utilizadas para aumentar a robustez desses sistemas [Albantes et al. 2025, Narayanan et al. 2023].

Neste contexto, este trabalho apresenta a arquitetura *IoT-MQTT-Monitor*, voltada ao monitoramento de consumo hídrico residencial com resiliência a falhas de comunicação. A proposta utiliza conceitos de autonomia e persistência fundamentados nos princípios arquiteturais do middleware EXEHDA (*Execution Environment for Highly Distributed Applications*). A abordagem inspira-se na aplicação desse middleware documentada por Albantes et al. [Albantes et al. 2025] no domínio da saúde, adaptando seus mecanismos às especificidades do monitoramento hídrico — um cenário caracterizado por diferentes padrões de aquisição, dinâmicas temporais e condições de conectividade.

A principal contribuição reside em demonstrar que a transposição dessas estratégias de sincronização assíncrona e persistência distribuída preserva a integridade das séries temporais em ambientes de conectividade intermitente, estendendo a aplicabilidade do modelo EXEHDA para um contexto de infraestrutura residencial ainda pouco explorado sob esse enfoque.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados; a Seção 3 descreve a arquitetura da proposta; a Seção 4 detalha as tecnologias utilizadas; a Seção 5 apresenta a avaliação da proposta; a Seção 6 discute os resultados obtidos; a Seção 7 apresenta as conclusões; e, por fim, a Seção 8 trata da declaração sobre o uso de inteligência artificial.

2. Trabalhos Relacionados

Estudos sobre monitoramento de consumo hídrico baseiam-se no uso de IoT, sensores distribuídos e análise de dados [Balamurugan et al. 2025], [Shankar et al. 2025] e [Farah and Shahrour 2024]. Essas abordagens demonstram a viabilidade da instrumentação de baixo custo para aquisição de dados em ambientes residenciais, porém, em geral, assumem conectividade contínua para transmissão das informações.

A incorporação de técnicas de inteligência artificial tem ampliado as capacidades desses sistemas, permitindo a análise avançada dos dados e a detecção de vazamentos [Li and Chen 2023]. Em paralelo, a integração com middlewares IoT e o uso de processamento em borda viabilizam o gerenciamento distribuído das informações. Nesse contexto, [Medeiros et al. 2025] explora o uso do middleware Dojot para coleta, processamento e persistência de dados em infraestrutura de borda, com armazenamento local em banco de dados. Contudo, apesar de incorporar persistência local, essa abordagem não considera explicitamente a intermitência da conectividade como elemento do modelo operacional, não contemplando mecanismos de sincronização assíncrona nem o gerenciamento estruturado de backlog.

Abordagens baseadas em infraestrutura centralizada integram sensoriamento, comunicação e processamento em nuvem [Narayanan et al. 2023] [6], mas mantêm forte dependência de conectividade contínua. Como consequência, essas soluções tornam-se vulneráveis à perda de dados em cenários reais de operação, nos quais falhas de comunicação são frequentes.

Tabela 1. Comparação entre os trabalhos relacionados

Trabalho	IoT	Edge	Persistência local	Sincronização assíncrona	Operação offline	Domínio de aplicação
Balamurugan et al.	Sim	Não	Não	Não	Não	Água
Shankar et al.	Sim	Não	Não	Não	Não	Água
DataDriven et al.	Sim	Sim	Não	Não	Não	Água
Medeiros et al.	Sim	Sim	Sim	Parcial	Parcial	Água
Li et al.	Sim	Sim	Não	Não	Não	Água
WasteWater et al.	Sim	Sim	Não	Não	Não	Água
Albantes et al.	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Saúde
Trabalho Proposto	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Água

No contexto da computação ubíqua, destaca-se o middleware EXEHDA [Albantes et al. 2025], que propõe uma infraestrutura distribuída baseada em adaptação ao contexto, autonomia dos dispositivos e suporte à mobilidade. Diferentemente das abordagens tradicionais, o EXEHDA considera a intermitência da conectividade como uma característica inerente do ambiente, incorporando mecanismos de persistência local, processamento descentralizado e sincronização posterior de dados. Importante ressaltar que a aplicação do EXEHDA documentada em [Albantes et al. 2025] é voltada ao monitoramento de saúde domiciliar (especificamente diálise peritoneal) cujos requisitos de domínio, padrões de eventos e granularidade temporal diferem substancialmente do monitoramento hídrico residencial abordado neste trabalho.

Apesar desses avanços, observa-se que a maioria das soluções aplicadas ao monitoramento hídrico não integra explicitamente mecanismos de persistência resiliente associados à intermitência da rede. Mesmo em trabalhos que utilizam persistência local, como [Medeiros et al. 2025], essa funcionalidade não é explorada como estratégia de tolerância à desconectividade, limitando-se ao armazenamento contínuo dos dados.

A proposta deste trabalho (IoT-MQTT-Monitor) integra sensoriamento distribuído, processamento em borda e persistência local com sincronização assíncrona, alinhando-se aos princípios da computação ubíqua e ao modelo proposto pelo EXEHDA, ao considerar a intermitência da conectividade como uma característica fundamental do ambiente e não como uma exceção.

Como sintetizado na Tabela 1, observa-se que apenas abordagens baseadas em middleware ubíquo, como o EXEHDA, e a proposta deste trabalho tratam explicitamente a persistência local e a tolerância à desconectividade como elementos centrais da arquitetura.

3. Arquitetura da Proposta

A solução é composta por nós externos distribuídos, responsáveis pela coleta e processamento inicial dos dados, e por um nó de borda, responsável pela intermediação, armazenamento e disponibilização das informações, conforme ilustrado na Figura 1.

3.1. Nós externos

Os nós externos, baseados em ESP32-C3 com sensor de vazão YF-S201 Instalados nos pontos de consumo, integram aquisição, processamento e persistência local, organizados nos seguintes módulos funcionais:

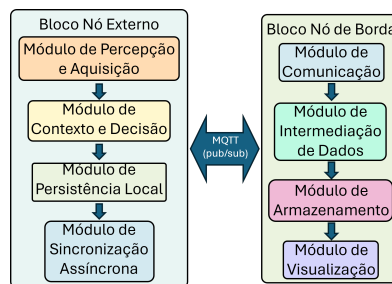


Figura 1. Arquitetura da proposta IoT-MQTT-Monitor.

- **Percepção e Aquisição:** captura de pulsos do sensor com amostragem periódica e filtragem para eliminação de ruídos em baixos fluxos;
- **Contexto e Decisão:** interpretação dos dados por meio de máquina de estados finitos, responsável por gerenciar aquisição, armazenamento e envio dos dados;
- **Persistência Local:** armazenamento contínuo dos dados em sistema de arquivos embarcado (SPIFFS), incluindo timestamps e valores de vazão;
- **Sincronização Assíncrona:** envio posterior dos dados ao nó de borda com controle de taxa, *backoff* adaptativo e *jitter*.

A operação é orientada a eventos, definidos como intervalos contínuos de consumo delimitados por períodos de vazão nula. Durante esses eventos, o nó prioriza a aquisição, mantendo os subsistemas de comunicação desativados. Os dados são armazenados localmente, formando um *backlog* que é transmitido quando o sistema transita para o estado de sincronização.

3.2. Nó de borda

O nó de borda, implementado em servidor local com alimentação ininterrupta, centraliza os serviços de recepção, processamento e disponibilização dos dados:

- **Comunicação:** recepção dos dados via broker MQTT Mosquitto [Eclipse Foundation 2025], utilizando tópicos para telemetria, estado dos nós e alertas;
- **Intermediação:** processamento e roteamento utilizando Node-RED [OpenJS Foundation 2025], incluindo interpretação dos dados e enriquecimento com timestamp de recepção;
- **Armazenamento:** persistência em banco de séries temporais InfluxDB [InfluxData 2025], otimizado para consultas históricas;
- **Visualização:** apresentação dos dados por meio dos dashboards nativos do InfluxDB, utilizando séries temporais e indicadores de estado.

3.3. Estratégia de comunicação e tolerância a falhas

A comunicação utiliza MQTT no modelo *publish/subscribe*, com tópicos para telemetria (*diva/tele*), status (*diva/status*) e alertas (*diva/alert*).

A estratégia desacopla aquisição e transmissão: durante eventos de consumo, os dados são armazenados localmente, constituindo um *backlog* transmitido posteriormente por sincronização assíncrona em ciclos (*flush*) de até 10 registros, com intervalo mínimo de 1,2 segundos.

Para aumentar a robustez, emprega-se *backoff* adaptativo com *jitter* nas tentativas de reconexão Wi-Fi e MQTT, com tempo máximo de espera de 10 segundos.

3.4. Modelo de comportamento dos nós

O comportamento dos nós é modelado por máquina de estados finitos (Figura 2), definida pela presença de fluxo.

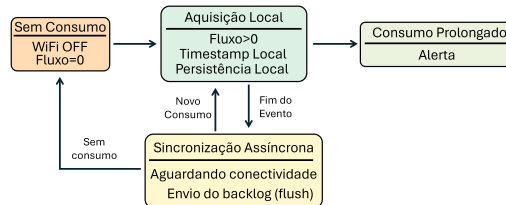


Figura 2. Máquina de estados dos nós externos.

Os estados principais são:

- **Sem Consumo:** ausência de fluxo e de dados pendentes; subsistemas de comunicação desativados;
- **Aquisição Local:** coleta e armazenamento local em SPIFFS (sistema de arquivos em memória flash), com comunicação desativada;
- **Sincronização Assíncrona:** ativação da comunicação para envio do *backlog*;
- **Consumo Prolongado:** fluxo contínuo superior a 30 minutos, com alerta sonoro periódico e registro do evento.

As transições são dinâmicas: um novo evento de consumo interrompe a sincronização e retorna ao estado de aquisição. Após o envio do *backlog*, o sistema retorna ao estado **Sem Consumo**, desativando a comunicação.

Os nós utilizam NTP para obtenção de timestamps absolutos quando conectados e `millis()` para timestamps relativos em desconexão, permitindo reconstrução temporal após sincronização. Cada registro inclui um indicador do tipo de timestamp.

3.5. Relação com o EXEHDA

A arquitetura alinha-se aos princípios do middleware EXEHDA [Albendes et al. 2025], especialmente quanto à distribuição do processamento, autonomia dos dispositivos e adaptação ao contexto. Os nós externos realizam processamento local e tomada de decisão, enquanto o nó de borda concentra os serviços de suporte, reduzindo a dependência de conectividade contínua.

4. Tecnologias Utilizadas

A arquitetura proposta utiliza o sensor de vazão YF-S201 para aquisição dos dados hidráulicos, cujo funcionamento baseia-se em um sensor de efeito Hall acoplado a um rotor interno, permitindo estimar vazão e volume a partir da frequência dos pulsos gerados. O sensor é conectado ao microcontrolador ESP32-C3-SuperMini por meio do pino GPIO4, configurado com interrupções externas para contagem dos pulsos.

A infraestrutura do nó de borda é composta pelo broker MQTT Mosquitto [Eclipse Foundation 2025], middleware Node-RED [OpenJS Foundation 2025] e

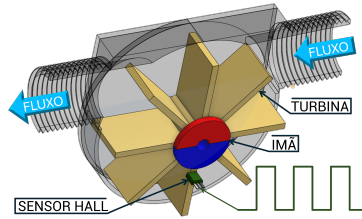


Figura 3. Sensor YF-S201 e forma de onda do sinal de saída.

banco de séries temporais InfluxDB 2.x [InfluxData 2025], executados em ambiente Linux Mint 22.3 Cinnamon. Os dashboards nativos do InfluxDB foram utilizados para visualização das séries temporais e monitoramento do sistema.

Tabela 2. Infraestrutura computacional utilizada

Componente	Especificação
Microcontrolador	ESP32-C3-SuperMini
Sensor de vazão	YF-S201
Servidor de borda	Intel Core i7, 16 GB RAM
Sistema operacional	Linux Mint 22.3 Cinnamon
Broker MQTT	Mosquitto 2.0.18
Middleware	Node-RED 4.0.9
Banco temporal	InfluxDB 2.7

5. Avaliação da Proposta

Esta seção apresenta a avaliação da proposta *IoT-MQTT-Monitor*, considerando sua operação em ambientes de computação ubíqua, com foco na persistência local, tolerância a falhas de comunicação e adaptação ao contexto.

5.1. Conjunto de Dados

Foi utilizado um subconjunto de dados correspondente a aproximadamente quatro horas, visando maior clareza na análise.

Os nós operam de forma orientada a eventos, realizando medições a cada 2 segundos durante o consumo. Os dados são armazenados localmente e enviados após o término do evento.

Cada registro contém dois referenciais temporais: o instante de aquisição no nó externo e o instante de recepção no nó de borda, permitindo reconstruir eventos e avaliar o atraso entre aquisição e registro.

Os registros armazenados incluem:

- **id**: identificador do nó;
- **esp_timestamp**: instante da medição no nó externo;
- **nodered_timestamp**: instante de recepção no nó de borda;
- **flow_lmin**: vazão instantânea (L/min).

Essa dupla referência temporal permite reconstruir os eventos de consumo e analisar o atraso entre aquisição e registro, sendo fundamental para a avaliação dos mecanismos de persistência local e sincronização assíncrona.

Os dados são persistidos em um banco de séries temporais, possibilitando análises históricas e avaliação do comportamento do sistema em diferentes condições de conectividade.

5.2. Operação em Condições Normais

Em condições de conectividade estável, os nós externos realizam a aquisição dos dados ao longo de cada evento de consumo, efetuando o envio ao seu término, o que mantém o *backlog* reduzido.

A Figura 4 apresenta a série temporal das vazões registradas, evidenciando eventos de consumo distintos ao longo do tempo, com variações de duração e intensidade associadas ao uso dos dispositivos hidráulicos.

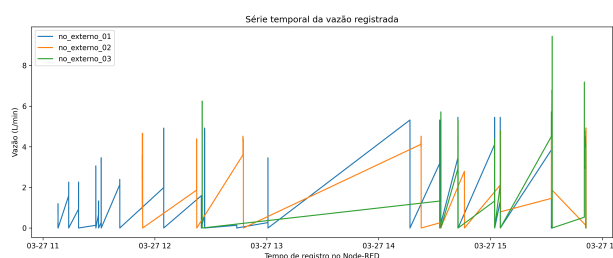


Figura 4. Série temporal das vazões registradas nos dispositivos monitorados.

5.3. Operação em Cenários de Falha de Comunicação

Para avaliar o comportamento do sistema em condições de conectividade intermitente, foram realizados experimentos com interrupção deliberada da rede.

Durante esses períodos, os nós externos continuam operando normalmente, registrando as medições localmente em um buffer de persistência. A Figura 5 apresenta a série temporal das vazões registradas nos três nós monitorados ao longo de aproximadamente 24 minutos. Observam-se eventos de consumo com diferentes padrões de duração e intensidade, associados aos distintos pontos hidráulicos monitorados. O nó *no_externo_01* apresenta eventos curtos e com maior vazão, característicos do uso de torneiras, enquanto o nó *no_externo_03* exibe eventos mais prolongados e com vazão moderada, compatíveis com o uso de chuveiro. Essa heterogeneidade evidencia a capacidade da arquitetura em monitorar simultaneamente diferentes perfis de consumo residencial..

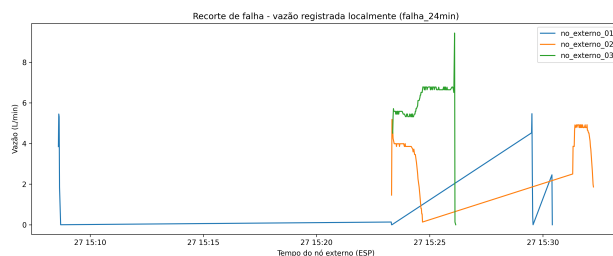


Figura 5. Aquisição local de vazão durante falha de conectividade (tempo do nó externo).

Observa-se a ocorrência de múltiplos eventos de consumo durante a falha, evidenciando que o processo de aquisição é independente da conectividade.

5.4. Persistência Local e Sincronização dos Dados

Após o restabelecimento da conectividade, os dados acumulados são transmitidos ao nó de borda por meio de um processo de sincronização assíncrona.

A Figura 6 apresenta o mesmo intervalo da Figura anterior considerando o tempo de registro no nó de borda. Nota-se que os dados, originalmente distribuídos ao longo do tempo de aquisição, passam a ser registrados de forma concentrada, caracterizando o envio do *backlog*.

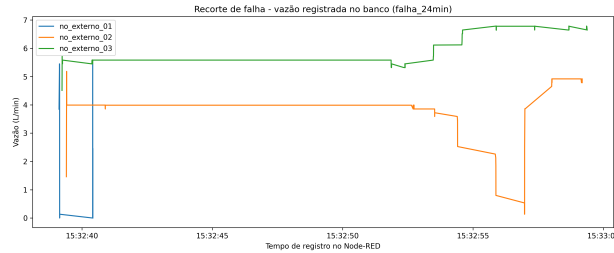


Figura 6. Registro no banco após reconexão, evidenciando o envio do backlog.

5.5. Comparação entre Aquisição e Registro

A Figura 7 apresenta a comparação entre os instantes de aquisição nos nós externos e os instantes de registro no nó de borda.

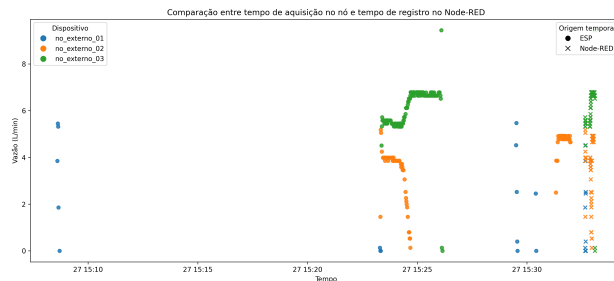


Figura 7. Comparação entre os tempos de aquisição nos nós externos e de registro no Node-RED.

Observa-se que os dados são inicialmente distribuídos ao longo do tempo de aquisição e posteriormente registrados de forma concentrada após o restabelecimento da conectividade. Esse comportamento evidencia o desacoplamento entre aquisição e transmissão.

Além disso, nota-se que os padrões de consumo são preservados entre os dois domínios temporais, indicando que não houve perda ou degradação das informações durante o período de falha.

5.6. Análise do Atraso na Transmissão

A Figura 8 apresenta o atraso entre a aquisição dos dados nos nós externos e seu registro no banco de dados. Em condições normais de conectividade, os atrasos permanecem reduzidos. Durante períodos de desconectividade, os nós armazenam localmente os dados adquiridos, resultando em aumento progressivo do atraso até o restabelecimento da

comunicação. Os picos observados correspondem à sincronização assíncrona do backlog armazenado, evidenciando o desacoplamento entre aquisição e transmissão. Mesmo em atrasos superiores a 1400 s, os dados foram preservados e posteriormente sincronizados com o nó de borda.

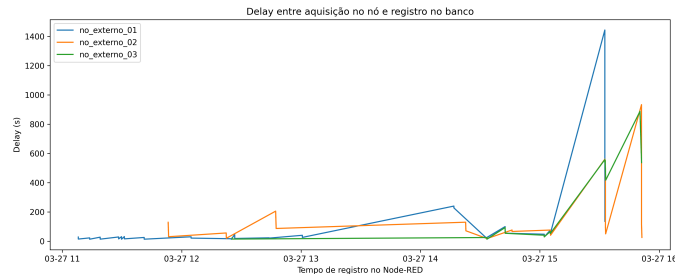


Figura 8. Atraso entre aquisição e registro dos dados ao longo do tempo.

Em condições normais, o atraso permanece reduzido, indicando transmissão próxima ao tempo real ao término dos eventos de consumo. Durante períodos de falha de conectividade, observa-se um aumento progressivo do atraso, associado ao acúmulo de dados no buffer local. Após o restabelecimento da conexão, o atraso reduz-se abruptamente, caracterizando o envio do *backlog*.

A Figura 9 apresenta a distribuição do atraso por nó, evidenciando variações entre os dispositivos e reforçando a natureza distribuída da arquitetura.

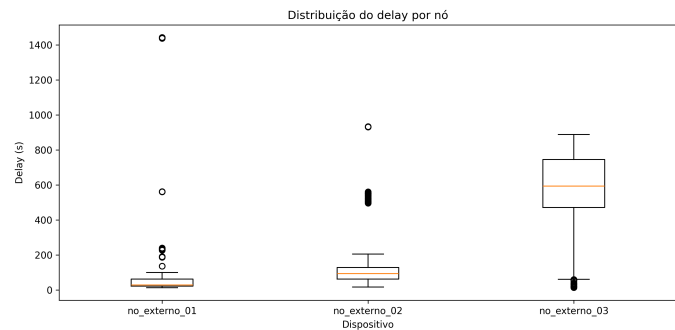


Figura 9. Distribuição do atraso por nó externo.

Para complementar a análise visual, a Tabela 3 apresenta métricas estatísticas do atraso para cada nó externo.

Tabela 3. Métricas de atraso por nó externo

Nó	Amostras	Delay médio (s)	Delay máximo (s)	Delay mínimo (s)
<i>no_externo_01</i>	228	88,57	1443,12	12,26
<i>no_externo_02</i>	491	139,74	932,88	16,43
<i>no_externo_03</i>	490	552,23	887,43	13,10

Observa-se que o *no_externo_01* apresentou o maior atraso máximo, enquanto o *no_externo_03* apresentou o maior atraso médio, indicando maior permanência de dados no buffer local antes da sincronização. Por outro lado, os valores mínimos de atraso

permaneceram reduzidos em todos os nós, evidenciando que, fora dos períodos de falha, o sistema opera com transmissão próxima ao tempo real.

Esses resultados reforçam que a estratégia de persistência local, aliada à sincronização assíncrona, preserva a integridade dos dados mesmo em cenários de conectividade intermitente.

5.7. Adaptação ao Contexto e Geração de Alertas

A proposta incorpora mecanismos de adaptação ao contexto, permitindo que os nós externos tomem decisões localmente.

Um exemplo é a detecção de consumo prolongado. Quando essa condição é identificada, o nó externo aciona alertas locais, como sinalização sonora. Caso haja conectividade, o evento é transmitido ao nó de borda; caso contrário, é armazenado localmente e enviado

6. Discussão

Os resultados evidenciam que a estratégia de persistência local garante a continuidade da aquisição mesmo durante falhas de conectividade, permitindo a recuperação posterior dos dados. O aumento do atraso durante a desconexão, seguido de sua redução após a reconexão, confirma o comportamento esperado de formação e envio do *backlog*.

Além disso, a variação observada entre os nós reforça a natureza distribuída da arquitetura, na qual o impacto da indisponibilidade de rede depende do padrão de uso e do volume de dados acumulados. Esses aspectos evidenciam o desacoplamento entre aquisição e transmissão como elemento central para a robustez do sistema.

7. Conclusão

Este trabalho apresentou a arquitetura *IoT-MQTT-Monitor* para monitoramento de consumo hídrico residencial, com ênfase em persistência local e tolerância a falhas de conectividade. Os resultados demonstraram que o sistema mantém a aquisição contínua mesmo na ausência de rede, armazenando dados localmente e realizando sincronização posterior sem perdas.

A análise dos atrasos entre aquisição e registro confirmou o desacoplamento entre esses processos e validou o comportamento do sistema durante a formação e o envio do *backlog*. Dessa forma, a proposta mostrou-se adequada para aplicações em ambientes de computação ubíqua, nos quais a conectividade é inerentemente intermitente.

Como trabalhos futuros, pretende-se aplicar técnicas de inteligência artificial para análise dos dados coletados, com foco na identificação de padrões de consumo e na detecção automática de vazamentos.

8. Declaração sobre o Uso de Inteligência Artificial

Em conformidade com o Código de Conduta para autores da Sociedade Brasileira de Computação (SBC), os autores declaram que ferramentas de Inteligência Artificial Generativa foram utilizadas exclusivamente como apoio na revisão ortográfica e gramatical do texto, não tendo sido empregadas para a geração de conteúdo técnico, científico ou resultados apresentados neste trabalho.

Referências

- Albantes, R., Souza, A., Pieper, L., Barcellos, F., Pernas, A., and Yamin, A. (2025). Uma contribuição à diálise peritoneal domiciliar explorando a iot para coleta e disponibilização de informações. In *Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva*, pages 191–202.
- Balamurugan, G., Harish, V. M., Giridharan, G., Stalin, C. V., and Rajarathnam, D. R. P. (2025). Iot based smart water distribution and leakage detection network. *International Research Journal on Advanced Engineering Hub*, 3(10):3992–3995.
- Chen, J.-L., Wu, Q.-A., and Ahmadi, C. (2022). Aiot@water: An intelligent water resources management system. In *Proceedings of the 2022 5th International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, pages 1–6. IEEE.
- Eclipse Foundation (2025). Eclipse mosquito. <https://mosquitto.org/>. Acessado em: 15 maio 2026.
- Farah, E. and Shahrour, I. (2024). Use of data-driven methods for water leak detection and consumption analysis at microscale and macroscale. *Water*, 16:2530.
- InfluxData (2025). Influxdb. <https://www.influxdata.com/>. Acessado em: 15 maio 2026.
- Li, L. and Chen, H. (2023). Artificial intelligence and internet of things-based leak detection method for the water supply network. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2023(1):1–11.
- Medeiros, Á. d. S., Gomes, R. D., and da Costa, A. F. B. F. (2025). Low-cost internet of things system for water metering in smart campus. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 14(5):3645–3658.
- Narayanan, L., Ganesh, R., Bharathi, S., Srinivasan, A., Santhana, R., and Sundararajan, S. (2023). Ai enabled iot based intelligent waste water management system for municipal waste water treatment. In *Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Computing, Communication and Intelligent Systems (ICCCIS)*, pages 1–6. IEEE.
- OpenJS Foundation (2025). Node-red. <https://nodered.org/>. Acessado em: 15 maio 2026.
- Shankar, V. S., Varshini, C. L., Prasad, G. J., and Sirisha, B. L. (2025). Smart waterflow and pipeline leakage detection using iot and arduino uno. *International Journal of Advanced Research*, 13(11):104–112.