

Automação de Biorreator Modular com PLC Altus XP340 e Integração IoT via MQTT/ThingsBoard

Bolsista José Luis Arrieta Concha – CTI Renato Archer / DINAM

jose.arrieta@cti.gov.br

Resumo

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento e a evolução de um sistema de automação modular aplicado a um biorreator para monitoramento e cálculo da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). O sistema encontra-se em desenvolvimento no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), integrando hardware e software industrial com tecnologias de Internet das Coisas (IoT). Utiliza-se o Controlador Lógico Programável (PLC) Altus XP340, programado no ambiente MasterTool IEC XE, conforme o padrão IEC 61131-3, para o controle de motores, válvulas, sensores e elementos de temperatura. O sistema substitui o protótipo anterior baseado em microcomputador e Arduino, oferecendo maior robustez elétrica, modularidade de software e comunicação em tempo real com a nuvem via protocolo MQTT. A solução proposta tem como objetivo otimizar o consumo energético, reduzir a intervenção humana e aumentar a precisão das medições de oxigênio dissolvido em processos de tratamento de efluentes e pesquisa ambiental.

Palavras-chave: Biorreator, Automação, Altus XP340, MQTT, ThingsBoard, IoT, Indústria 4.0

1. Introdução

A determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um parâmetro fundamental para a avaliação da qualidade de efluentes líquidos, servindo como indicador direto da quantidade de matéria orgânica presente na água. Entretanto, os métodos tradicionais de análise apresentam limitações significativas, pois demandam até cinco dias de incubação e dependem de intervenção manual contínua. Essas restrições tornam o processo ineficiente e pouco adequado para o controle em tempo real de estações de tratamento de efluentes.

O projeto de automação do biorreator teve início em versões anteriores que utilizavam microcomputadores e sensores baseados em Arduino, controlados via LabVIEW. Embora essa arquitetura tenha possibilitado a prova de conceito inicial, observou-se baixa estabilidade, vulnerabilidade a interferências elétricas e necessidade frequente de reinicializações. Para superar essas limitações, foi adotada uma abordagem industrial, centrada no PLC Altus XP340, que opera em tensões de 12–24 V e dispõe de recursos de comunicação MODBUS RTU e MQTT, além de suporte total às linguagens da norma IEC 61131-3.

Essa transição representa um avanço significativo rumo à Indústria 4.0, permitindo integração com plataformas IoT, maior confiabilidade e a possibilidade de controle remoto e análise preditiva de dados ambientais.

2. Materiais e Métodos

A arquitetura proposta integra componentes eletromecânicos, eletrônicos e de software em uma estrutura modular. O controle principal é realizado pelo PLC Altus XP340, responsável por gerenciar motores, válvulas solenóides, sensores e elementos de refrigeração. Cada rotina foi implementada como um programa independente em Structured Text (ST), garantindo isolamento funcional e facilidade de manutenção.

Tabela 1 – Mapeamento das saídas digitais do sistema

Saída	Função	Descrição
Q01	Válvula S1	Entrada de água limpa
Q02	Válvula S2	Entrada de amostra
Q03	Válvula S3	Drenagem
Q04	Válvula S4	Overflow ou alívio de pressão
Q05	Motor M1	Bombeamento principal de água/amostra
Q06	Motor M2	Recirculação e homogeneização
Q07	Motor M3	Oxigenação
Q10	Ventoinha	Controle de temperatura e dissipação térmica
Q11	Relé A	Controle de polaridade do módulo Peltier
Q12	Relé B	Controle de potência do módulo Peltier

Os sensores de nível (N1, N2, N3) determinam a quantidade de líquido dentro do biorreator, enquanto o sensor óptico YSI ODO RTU mede o oxigênio dissolvido e a temperatura. As comunicações entre o sensor e o PLC são realizadas por meio do protocolo MODBUS RTU, via interface RS-485.

O sistema de controle térmico utiliza módulos Peltier acionados por relés (Q11 e Q12), permitindo controle de aquecimento e resfriamento. O ventilador (Q10) auxilia na dissipação do calor e mantém a estabilidade térmica dentro de $\pm 0,3$ °C.

O software foi desenvolvido em MasterTool IEC XE (versão MT8500), empregando rotinas como Bioreactor_Empty, Bioreactor_Fill, Bioreactor_DBO_Analysis, Bioreactor_MQTT Bioreactor_Temperature_Control. Cada rotina se auto-desativa após a execução, utilizando bandeiras externas para sincronização com a linguagem ladder principal.



Figura 1 – Caixa de comandos elétricos do Biorreator



Figura 2 – Setup da parte hidráulica e do sensor de oxigênio inserido no Biorreatore

3. Resultados e Discussões

Os testes iniciais confirmaram o correto funcionamento das rotinas modulares e da comunicação entre os subsistemas. O controle térmico mostrou resposta eficiente, atingindo a temperatura de referência em menos de cinco minutos e mantendo variação máxima de $\pm 0,4$ °C. Durante o processo de oxigenação, observou-se uma saturação média de 98 % de O₂ dissolvido, com estabilidade nas leituras do sensor óptico.

A rotina de Data Logging registrou amostras a cada minuto, incluindo dados de temperatura, oxigênio dissolvido, data/hora e estado da máquina. Essas informações foram enviadas via MQTT para o broker e visualizadas na plataforma ThingsBoard, onde foram configurados painéis de controle em tempo real. A interface permitiu a visualização gráfica do comportamento das variáveis e a detecção de anomalias.

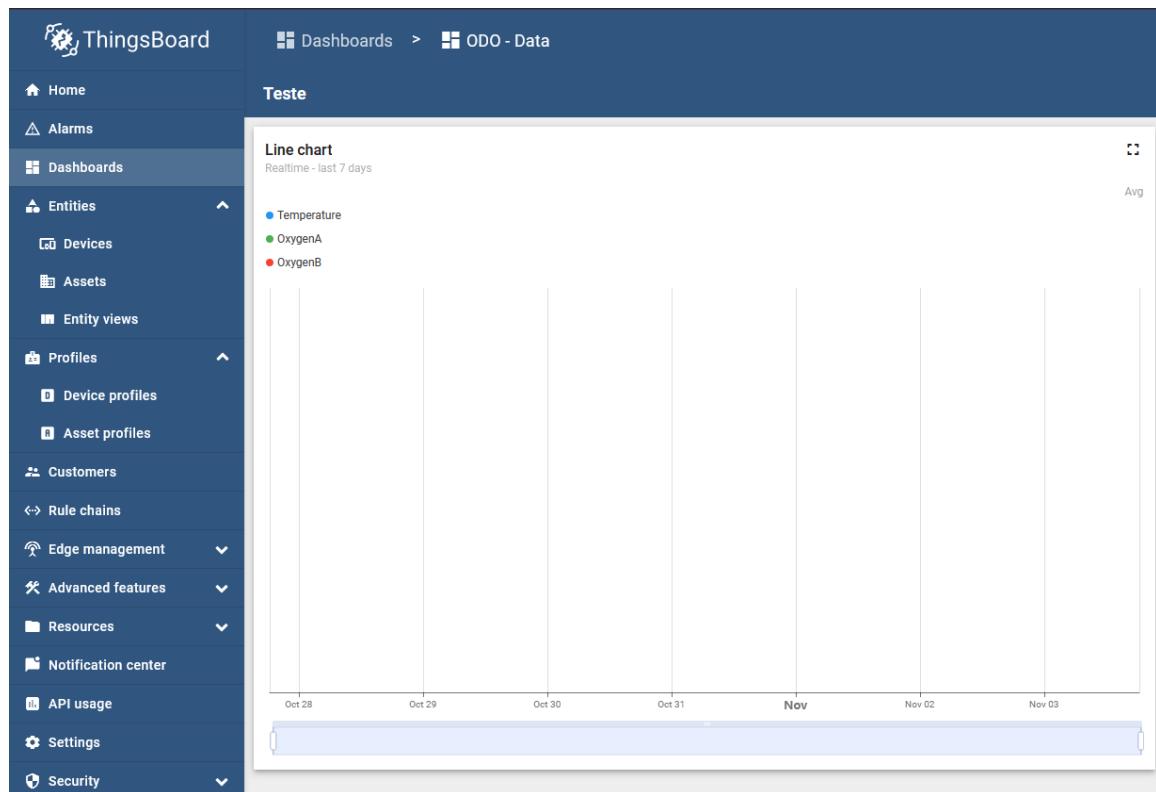


Figura 3 – Exemplo de dashboard ThingsBoard com leitura de temperatura e oxigênio dissolvido

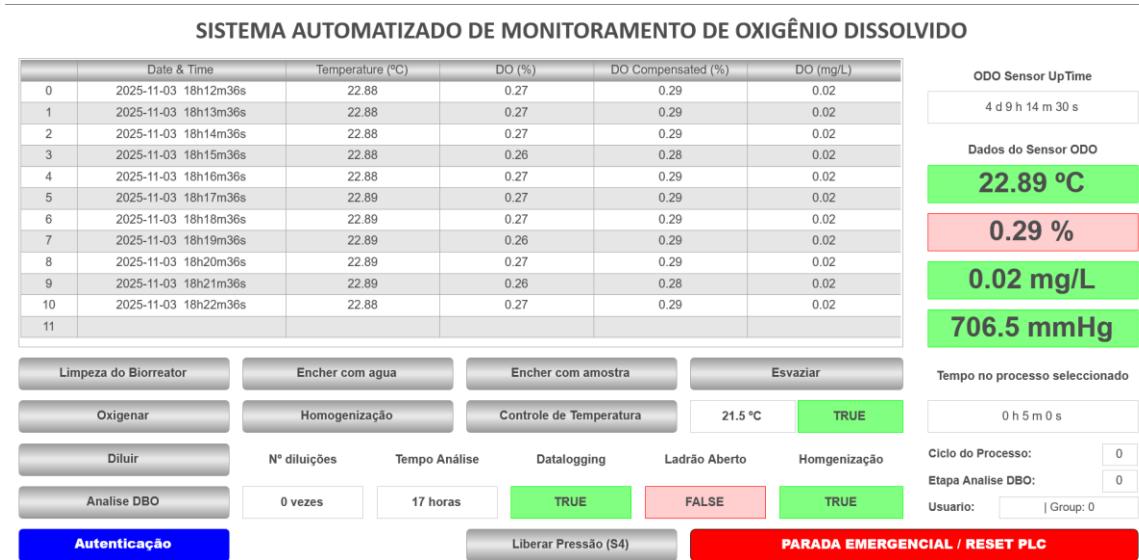


Figura 4 – Tela de controle Web local do biorreator

O sistema atual mostrou-se superior ao protótipo anterior em confiabilidade, consumo de energia e facilidade de manutenção. A substituição do microcomputador pelo PLC eliminou falhas por travamento de software e reduziu o consumo energético global em cerca de 40 %. A modularidade das rotinas facilita atualizações e reuso do código em futuras versões.

4. Integração IoT e Perspectivas Futuras

A integração com a plataforma ThingsBoard abre caminho para o monitoramento remoto e análise preditiva. O protocolo MQTT foi escolhido por sua leveza e eficiência, possibilitando envio de dados em intervalos curtos e garantindo compatibilidade com brokers locais ou em nuvem. O sistema suporta autenticação por token e tópicos dedicados, assegurando confidencialidade e integridade das mensagens.

A próxima etapa do projeto prevê a implementação de dashboards customizáveis, alarmes automáticos e relatórios analíticos. Planeja-se também a incorporação de modelos de aprendizado de máquina para prever o tempo ótimo de oxigenação e o consumo energético em cada ciclo de tratamento.

5. Conclusão

O sistema de automação desenvolvido representa um marco no avanço da automação ambiental no CTI Renato Archer. A combinação de hardware industrial, software modular e integração IoT possibilita um controle mais preciso e sustentável dos processos de monitoramento de efluentes. A arquitetura proposta é flexível, escalável e compatível com aplicações industriais reais, contribuindo para a modernização do setor de saneamento e a transição para a Indústria 4.0.

6. Referências

- ALTUS S.A.** – MasterTool IEC XE User Manual (MU299609), 2025.
- ALTUS S.A.** – MQTT Library User Manual (MU214606), 2020.
- ALTUS S.A.** – XP340 Nexo Series PLC User Manual (MU216600), 2025.
- IEC 61131-3: Industrial Automation** – Programmable Controller Languages, International Electrotechnical Commission, 2013.
- CTI Renato Archer** – Relatórios Internos de Pesquisa em Automação Ambiental, Divisão DINAM, 2024–2025.
- International Society of Automation (ISA)** – MQTT Applications in Industrial Systems, 2021.
- BRAGA, R. et al.** – Aplicações de IoT em estações de tratamento de efluentes. Revista Brasileira de Automação, v.12, n.2, 2023.