

1296 - TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NO SANEAMENTO: INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS OPEN SOURCE E FERRAMENTAS INDUSTRIAIS COM INTEROPERABILIDADE E BAIXO CUSTO

Silas Teixeira de Oliveira⁽¹⁾

Técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA). Tecnólogo em Automação Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI Ítalo Bologna. Técnico em Eletrotécnica na SANEAGO.

Abigail Trindade de Almeida

Técnico em Eletrotécnica pela Escola Técnica Federal de Goiás (ETFGO). Tecnólogo em Redes de Computadores pela Universidade Estadual de Goiás (UEG). Engenheiro Eletricista pelo Instituto Federal de Goiás (IFG). Especialista em Instrumentação e Controle de Processos Industriais pela Faculdade de Tecnologia Senai Ítalo Bologna. Técnico em Eletrotécnica na SANEAGO.

Hugo Souza Silva

Técnico em Eletrotécnica pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Engenheiro Mecânico pelo Instituto Federal de Goiás (IFG). Engenheiro de Segurança do Trabalho pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação (IPOG). Técnico em Mecânica na SANEAGO.

Endereço⁽¹⁾: Rua 90, n.º 220, Setor Sul, Goiânia, GO, Brasil. email: silasoliveira@saneago.com.br

RESUMO

Este artigo explora como a transformação digital está revolucionando o saneamento, apresentando soluções open source para automação, como Node-RED, Lazarus/PascalSCADA e CODESYS, todas integradas a SBCs (por exemplo, Raspberry Pi). O estudo destaca aplicações práticas na SANEAGO, comprovando eficiência, confiabilidade e redução de custos, graças a protocolos abertos e licenciamento flexível. Os resultados mostram maior interoperabilidade, modernização sólida, segurança operacional e manutenção otimizada para sistemas de bombeamento e tratamento de água. A adoção de tais tecnologias promovem sustentabilidade, escalabilidade e economia, elevando a qualidade dos serviços e favorecendo diretamente a população.

PALAVRAS-CHAVE: Transformação Digital, Open Source, Interoperabilidade, Automação Industrial, Integração de Tecnologias

INTRODUÇÃO

A transformação digital tem impulsionado o setor de saneamento em direção à modernização, assegurando melhorias operacionais, otimização de recursos e maior sustentabilidade. Nesse contexto, a automação livre — baseada em ferramentas de código aberto ou de uso gratuito — apresenta-se como alternativa viável para a adoção de tecnologias em tratamento, distribuição de água e gestão de esgoto. De acordo com Espírito Santo (2020), “a adoção de softwares livres é uma alternativa flexível, econômica e transparente para atender às necessidades da Administração Pública”. Este artigo investiga a aplicação dessas soluções no saneamento, destacando suas contribuições para padronização e confiabilidade.

A adoção de ferramentas livres atende às demandas de competitividade, redução de custos e flexibilidade em setores públicos e privados, sobretudo em processos industriais de tratamento e distribuição de água. Uma prospecção de mercado permitiu mapear produtos existentes, avaliar seu grau de maturidade e realizar testes. Observou-se que, no desenvolvimento de sistemas SCADA, há maior diversidade de ferramentas open source, enquanto as opções voltadas especificamente à automatização de processos por meio de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) são mais restritas. Entre elas, o Codesys foi aplicado em profundidade para avaliar facilidade de uso, confiabilidade, robustez e aderência a normas industriais, demonstrando benefícios para a automação de sistemas de saneamento.

Em relação às plataformas SCADA, PascalSCADA (2025) destaca “a versatilidade de Lazarus, especialmente quando associado ao framework PascalSCADA, para controle e supervisão de processos”. O Node-Red também mostrou relevância, sobretudo por sua integração com múltiplos protocolos e interface gráfica intuitiva. Segundo Node-RED (2025), “o Node-Red simplifica a construção de fluxos de dados e possibilita a rápida criação de protótipos, tornando-o especialmente atrativo para aplicações de saneamento”. Paralelamente, computadores de placa única (como o Raspberry Pi) surgiram como opção econômica e flexível, especialmente em localidades geograficamente dispersas ou com infraestrutura reduzida. Nesse sentido, Raspberry Pi Foundation (2024) ressalta “o baixo consumo de energia e a compatibilidade com sistemas open source”.

OBJETIVO

Este estudo busca demonstrar a aplicação de soluções livres na automação industrial com foco no saneamento, apresentando resultados de implantações em unidades operacionais que substituíram ou complementaram seus sistemas automatizados com softwares sem licenciamento. Pretende-se evidenciar o impacto na redução de custos de hardware e software, bem como promover maior concorrência e padronização de processos por meio de tecnologias abertas.

METODOLOGIA

Os tópicos a seguir fornecem a base teórica necessária para o desenvolvimento da automação livre em saneamento, privilegiando o melhor custo-benefício e considerando os possíveis custos de licenciamento de cada solução.

a) Sistemas SCADA

Em projetos de automação com software livre aplicados ao saneamento, os sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) supervisionam variáveis operacionais, coletam dados de sensores e dispositivos de campo, como Unidades Terminais Remotas (RTUs) e Controladores Lógicos Programáveis (PLCs), e os integram ao supervisão para processamento, armazenamento e geração de alarmes e controles. Ferramentas open source, como Lazarus, ampliam essas capacidades ao oferecer soluções multiplataforma, essenciais para ambientes públicos com infraestrutura diversificada.

A plataforma Lazarus foi escolhida para migrar um supervisão desenvolvido originalmente em Delphi 7, devido à sua compatibilidade e flexibilidade. Com o framework PascalScada, o sistema ganhou gráficos históricos avançados, viabilizados pelo uso de bancos de dados relacionais, e interfaces eficientes. O novo sistema aumentou a confiabilidade, otimizou o controle local e remoto de estações e reduziu custos operacionais.

Protocolos como Modbus RTU/TCP e bancos de dados PostgreSQL garantem alta confiabilidade e suporte a múltiplos usuários. A integração eficiente dos dados operacionais ampliou a escalabilidade do supervisão e reforçou o monitoramento de variáveis críticas, demonstrando como soluções open source atendem com eficiência às demandas de infraestrutura pública.

b) IDE de Programação de CLP's

Para garantir conformidade com a IEC 61131-3 e estabelecer uma automação robusta, este trabalho adota o CODESYS como ferramenta principal para o desenvolvimento de lógicas de controle (CODESYS, 2025). Em ambientes públicos, flexibilidade, economia e independência de fabricantes são vantagens-chave, tornando a aquisição via licitação mais competitiva ao eliminar vínculos com plataformas proprietárias. O CODESYS possui dois módulos principais:

- CODESYS Development System (IDE): Software para criação, simulação e depuração de aplicações de CLPs, compatível com a IEC 61131-3. Extensões avançadas podem exigir licenças pagas obtidas na CODESYS Store, mas a versão básica é gratuita.
- CODESYS Runtime: Executa aplicações de controle em dispositivos como CLPs de parceiros, PCs industriais ou SBCs (ex.: Raspberry Pi). Seu uso comercial exige licença paga, geralmente embutida no custo de controladores dos fabricantes parceiros.

O CODESYS se destaca como uma plataforma aberta e compatível com diversos fabricantes, permitindo a integração de CLPs e PCs industriais de diferentes marcas. Isso fomenta a concorrência em licitações, principalmente em órgãos públicos e empresas que buscam reduzir custos sem comprometer a qualidade. A conexão com múltiplos fornecedores aumenta a competitividade e reduz os investimentos iniciais (CODESYS INSIDE, 2024).

A conformidade com a IEC 61131-3 traz padronização ao desenvolvimento de sistemas, o reaproveitamento de código entre equipamentos permite migrar aplicações sem necessidade de reprogramação, alinhando o CODESYS às demandas de inovação tecnológica no saneamento.

c) Computador de Placa Única

Os Computadores de Placa Única (SBCs) são cruciais na automação com software livre. Eles oferecem soluções de baixo custo ao integrar processamento, armazenamento e interfaces de I/O em um único componente (RASPERRY PI FOUNDATION, 2024). Compactos e energeticamente eficientes, os SBCs são ideais para telemetria e controle remoto em sistemas hídricos dispersos, apesar de limitações de compatibilidade e desempenho em alguns modelos.

d) Node-Red

O Node-RED integra sensores e dispositivos na camada de supervisão e comunicação, utilizando fluxos baseados em Node.js (HAGINO, 2021). Como software livre, oferece personalização e escalabilidade de serviços IoT sem custos com licenças ou bloqueios proprietários. Sua interface de programação visual simplifica a criação de soluções, dispensando conhecimentos aprofundados de linguagens de baixo nível e acelerando o desenvolvimento de protótipos. Com suporte a protocolos amplamente utilizados, como MQTT, Modbus e HTTP, o Node-RED possibilita a integração entre diferentes dispositivos e tecnologias, promovendo a interoperabilidade. Sua flexibilidade e uma ampla comunidade de usuários garantem uma ferramenta versátil, ideal para aplicações que demandam conectividade ágil e soluções de baixo custo (NODE-RED, 2021).

Ferramentas como n8n.io e Microsoft Flow também oferecem automação visual e integração de serviços. O n8n.io é open source e pode ser executado localmente ou em servidores próprios, mas sua oferta de serviços pagos, como funcionalidades Enterprise, pode representar uma limitação em alguns cenários. Já o Microsoft Flow, proprietário, exige assinaturas recorrentes, restringindo sua acessibilidade em comparação ao Node-RED.

RESULTADOS

O estudo de caso foi conduzido em diversas unidades do sistema de água da RM de Goiânia operados pela SANEAGO.

a) Uso do Node-Red - Implementação de automação nas unidades EAT Ipiranga e Atlântico

Nesse caso, foi implementado um sistema de automação nas unidades de abastecimento de água EAT Ipiranga e EAT Atlântico (Goiânia), utilizando a ferramenta Node-RED. Instalado em um Raspberry Pi (SBC), o Node-RED coleta dados de temperatura e vibração dos motobombas, pressão e vazão na adutora, além de monitorar temperatura, corrente e outros parâmetros dos inversores de frequência.

Essas informações são armazenadas em um historiador (Grafana, open source), permitindo análises detalhadas para falhas e melhorias. O Node-RED também gera notificações automáticas em casos de inconformidades, garantindo resposta ágil da manutenção e prevenindo paradas não programadas.

Um diferencial é a capacidade do Node-RED de se comunicar com dispositivos via protocolos industriais como Modbus TCP/IP, utilizando bibliotecas gratuitas. Isso facilita a expansão da automatização em sistemas de água e esgoto.

Com esse sistema, as unidades Ipiranga e Atlântico elevaram a confiabilidade operacional dos equipamentos e do abastecimento. A solução demonstrou ser eficiente, acessível e viável para aplicações no saneamento.

b) Uso do Codesys

- **ETA Mauro Borges — Hardware Utilizado: CLP WAGO**
Inaugurada em 2017, a Estação de Tratamento de Água (ETA) Mauro Borges é o principal sistema de tratamento do Estado de Goiás, com capacidade nominal de 4.000 L/s. Ela enfrentava altos custos de manutenção, baixa interoperabilidade e dependência de um fornecedor, o que prejudicava a confiabilidade e causava interrupções operacionais recorrentes. Para sanar esses problemas, adotou-se o protocolo Modbus TCP e reestruturou-se a comunicação, garantindo maior flexibilidade e escalabilidade. A centralização do código de automação em um CLP do fabricante WAGO PFC 200, programado na plataforma CODESYS, simplificou a gestão e manutenção dos processos.
- **Booster Cascalho — Hardware Utilizado: Controlador Turck**
A unidade Booster Cascalho, em Goiânia, opera cinco conjuntos de motobombas de 350 cv, totalizando 1.000 L/s. A adoção de uma IHM com função de CLP da Turck (modelo TX207-P3CV01 [TURCK, 2025]) modernizou o sistema de automação, oferecendo maior estabilidade e eficiência no bombeamento e reduzindo falhas decorrentes de limitações tecnológicas.
- **Booster Adélia — Hardware Utilizado: Placa Raspberry Pi 3**
Na unidade Booster Adélia, também em Goiânia, três conjuntos de motobombas de 900 cv alcançam 1.100 L/s. O sistema proprietário anterior enfrentava obsolescência e problemas na aquisição de peças. Diante disso, desenvolveu-se uma automação com CODESYS em um Raspberry Pi 3, introduzindo algoritmos avançados de controle e otimizando a eficiência energética. Essa solução inovadora reduziu custos operacionais e tornou a Booster Adélia referência em automação, ao combinar tecnologia de ponta e acessibilidade.
- **Elevatória Senac — Hardware Utilizado: WEG PLC500 CODESYS**
A Elevatória Senac, também em Goiânia, opera quatro conjuntos de motobombas de 1.100 cv, com vazão nominal de 2.200 L/s. O sistema de automação anterior apresentava limitações tecnológicas e obsolescência. Como parte de sua modernização, adotou-se o WEG PLC500, programado em CODESYS, ampliando a confiabilidade e a eficiência no bombeamento. O novo arranjo tecnológico reduziu custos de manutenção e promoveu maior escalabilidade nas soluções de automação.

c) Uso do Lazarus - Caldazinha-GO

A solução SCADA baseada em Lazarus e PascalSCADA, atualmente em migração do Delphi 7, foi implementada inicialmente na cidade de Caldazinha-GO para supervisão e controle de múltiplas unidades de abastecimento de água, incluindo estações de tratamento e bombeamento. Essa arquitetura, que será expandida para outros municípios, utiliza protocolos abertos como Modbus/TCP e MQTT para integrar dispositivos como PLCs e computadores de placa única (e.g., Raspberry Pi). A comunicação combina enlaces de fibra óptica e redes sem fio, garantindo a transmissão segura dos dados.

Desenvolvida em Lazarus com o framework PascalSCADA, a aplicação SCADA reúne funcionalidades essenciais, como monitoramento em tempo real, controle de bombas e válvulas, gestão de alarmes e geração de relatórios. A Interface Homem-Máquina (IHM), customizada conforme as demandas operacionais, permite a visualização clara e intuitiva de sinóticos, tendências históricas e eventos de processo.

ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise das iniciativas envolvendo Node-Red, CODESYS e Lazarus/PascalSCADA em diversas unidades de abastecimento da Região Metropolitana de Goiânia evidenciou ganhos substanciais em eficiência operacional, confiabilidade no bombeamento e tratamento de água, além de redução de custos de manutenção e licenciamento. Tais avanços resultam, em parte, do emprego de protocolos de comunicação abertos (Modbus TCP/IP, MQTT), que ampliaram a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes.

O uso do Node-Red facilitou a coleta e integração de dados (sensores de temperatura, vibração, inversores de frequência e motobombas), enquanto a adoção do CODESYS em projetos como ETA Mauro Borges, Boosters Cascalho e Adélia e Elevatória Senac substituiu sistemas proprietários, reduzindo custos e simplificando rotinas de operação. Por sua vez, a implantação de Lazarus/PascalSCADA na cidade de Caldazinha-GO

comprovou a viabilidade de um SCADA open source, propiciando telas de supervisão personalizadas, controle remoto de motobombas e gestão de alarmes/relatórios em tempo real. A padronização de protocolos e a integração de múltiplos dispositivos (PLCs, SBCs etc.) reforçam a automação livre como alternativa econômica, escalável e robusta para o setor de saneamento.

CONCLUSÕES

A transformação digital no setor de saneamento exige soluções flexíveis, escaláveis e de baixo custo, capazes de operar em ambientes complexos, dispersos e com alto volume de dados. Ao longo deste artigo, analisaram-se as principais ferramentas open source de automação e supervisão de processos e suas aplicações em campo.

A adoção do Node-Red destacou-se por beneficiar usuários com conhecimento limitado em programação, graças à criação de fluxos em Node.js, dispensando linguagens de baixo nível. Para o desenvolvimento de sistemas SCADA em empresas públicas, Lazarus/PascalSCADA revelou-se uma alternativa econômica, transparente e funcional, sobretudo por oferecer compatibilidade multiplataforma, flexibilidade de customização e forte apoio comunitário.

O CODESYS também se evidenciou como robusto, flexível e economicamente viável. Diferentemente de plataformas mais restritas, não se prende a um único fabricante de hardware, ampliando a concorrência em licitações. Seu modelo de licenciamento somado a características como escalabilidade e aderência a conceitos de Indústria 4.0, reforça sua eficácia em processos de modernização no saneamento público.

Diante do exposto, conclui-se que a integração de soluções baseadas em código aberto mostrou-se eficiente e economicamente viável no saneamento. Tais iniciativas contribuem para a modernização, confiabilidade e sustentabilidade dos serviços de abastecimento e tratamento de água e esgoto, impulsionando a qualidade de vida das comunidades atendidas.

RECOMENDAÇÕES

Implementar técnicas de análise preditiva com o uso de Inteligência Artificial (IA) para otimizar estratégias de manutenção, reduzindo falhas e aumentando a eficiência operacional. Além disso, investir em treinamentos contínuos das equipes para garantir o domínio e o uso eficaz de ferramentas open source, promovendo a sustentabilidade e a evolução contínua dos projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PASCALSCADA. Introdução. Disponível em: <https://www.pascalscada.com/pb/intro/>. Acesso em: 17 jan. 2025.
- NORELLO, R.; SILVA, A. B.; GOMES, L. P. Sistemas SCADA: análise e implementação de soluções open source. *Journal of Public Infrastructure*, v. 8, n. 2, p. 40-52, 2023.
- SANTOS, R. *Software Livre na Indústria 4.0: Integrações e Desafios*. Salvador: UFBA, 2020.
- SCHMIDT, P. R. *Plataformas de Automação em Ambientes Públicos*. Rio de Janeiro: Editora Engenho, 2022.
- SILVA, E. M. Soluções de Automação Visual: Desafios em Ferramentas Proprietárias e Open Source. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Automação*, 2022, p. 12-18.
- CODESYS. CODESYS – Site Oficial. Disponível em: <https://www.codesys.com/>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- CODESYS INSIDE. The System: CODESYS Inside. Disponível em: <https://www.codesys.com/the-system/codesys-inside.html>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado de Gestão e Recursos Humanos. Software Livre e de Código Aberto: Grupo de Estudos – CEAPPGG-ES. Vitória: SEGER, [s.d.]. Disponível em: <https://seger.es.gov.br/Media/Seeger/SUDEM/SOFTWARE%20LIVRE%20E%20DE%20C%C3%93DIGO%20ABERTO%20-%20CEAPPGG-ES.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- GOMES, José Ricardo Ribeiro. *Automação Industrial com recurso a ferramentas "Open Source"*. 2014. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/76265/2/31888.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- HAGINO, Taiji. *Practical Node-Red Programming: Learn Powerful Visual Programming Techniques and Best Practices for the Web and IoT*. Packt Publishing Limited, 2021.

NODE-RED. Disponível em: <https://nodered.org>. Acesso em: 07 jan. 2025.

RASPBERRY PI FOUNDATION. Especificações. Disponível em:
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. Acesso em: 27 dez. 2024.