

Relatório 3: Correção e Modernização da Documentação da planta STEC e Calibração do Sensor de Nível

Eduardo Henrique Basilio de Carvalho
Renan Neves da Silva

Dezembro de 2025

1 Introdução

O presente relatório tem como objetivo apresentar as atividades desenvolvidas para a modernização da documentação e configuração da planta didática STEC (Sistema de Tanques para Estudo de Controle).

O trabalho abrange a revisão do Fluxograma de Processo e Instrumentação (P&ID) para adequação à norma ANSI/ISA-5.1-2009, estabelecendo uma nova nomenclatura padronizada e a divisão da planta em unidades lógicas. Além disso, descreve-se a estratégia de configuração da rede Foundation Fieldbus e o procedimento de calibração do transmissor de nível (LIT-101), incluindo a análise de incertezas e erros de medição, visando garantir a conformidade normativa e a confiabilidade metrológica do sistema.

2 Documentação e Projeto

2.1 Nova Estrutura de Identificação

A planta foi dividida em duas unidades principais para a numeração dos instrumentos:

- Unidade 100: Tanque de Aquecimento (TAQ) e linhas associadas;
- Unidade 200: Tanque de Produto (TP) e linhas associadas.

As letras de identificação foram atualizadas para remover os sufixos "CV" dos TAGs de válvulas, passando a usar apenas "V", conforme a norma ISA 5.1-2009.

2.2 Lista de Instrumentos

Nesta tabela, os instrumentos são listados com suas novas identificações:

Tabela 1: Lista de Instrumentos — novas identificações

Novo TAG	TAG Antigo	Descrição	Unidade	Tipo de Sinal
Malha 101 - Controle de Nível do TAQ				
LIT-101	LIT1	Transmissor Indicador de Nível	TAQ	Fieldbus
LIC-101	LC1	Controlador Indicador de Nível	TAQ	Fieldbus
LY-101	-	Conversor de Sinal	Campo	4-20 mA
LV-101	LCV1	Válvula de Controle de Nível	TAQ	Pneumático
LSH-101	-	Chave de Nível Alto	TAQ	Fieldbus
LSL-101	-	Chave de Nível Baixo	TAQ	Fieldbus
Continua na próxima página				

Tabela 1 – continuação

Novo TAG	TAG Antigo	Descrição	Unidade	Tipo de Sinal
Malha 102 - Controle de Temperatura do TAQ				
TIT-102	TIT1	Transmissor Indicador de Temperatura	TAQ	Fieldbus
TIC-102	TC1	Controlador Indicador de Temperatura	TAQ	Fieldbus
TY-102A	-	Conversor de Sinal	Campo	4-20 mA
TY-102B	-	Conversor de Sinal	Campo	Tensão
TY-102C	-	Módulo de Potência	TAQ	Elétrico de Potência
TZ-102	Resistor	Elemento Final de Temperatura	TAQ	Elétrico de Potência
TE-102	TE1	Elemento Sensor de Temperatura	TAQ	Físico
Malha 201 - Controle de Nível do TP				
LIT-201	LIT2	Transmissor Indicador de Nível	TP	Fieldbus
LIC-201	LC2	Controlador Indicador de Nível	TP	Fieldbus
LY-201	-	Conversor de Sinal	Campo	4-20 mA
LV-201	LCV2	Válvula de Controle de Nível	TP	Pneumático
LSH-201	-	Chave de Nível Alto	TP	Fieldbus
LSL-201	-	Chave de Nível Baixo	TP	Fieldbus
Malha 202 - Controle de Temperatura do TP				
TIT-202	TIT2	Transmissor Indicador de Temperatura	TP	Fieldbus
TIC-202	TC2	Controlador Indicador de Temperatura	TP	Fieldbus
TY-202A	-	Conversor de Sinal	Campo	4-20 mA
TE-202	TE2	Elemento Sensor de Temperatura	TP	Físico
TY-202B	-	Conversor de Sinal	Campo	4-20 mA
TV-202	TCV1	Válvula de Controle de Temperatura	TP	Pneumático
Malha 203 - Controle de Vazão de Saída do TP				
FIT-203	FIT4	Transmissor Indicador de Vazão	TP	Fieldbus
FIC-203	FC4	Controlador Indicador de Vazão	TP	Fieldbus
FY-203	-	Conversor de Sinal	Campo	4-20 mA
FV-203	FCV1	Válvula de Controle de Vazão	TP	Pneumático
Instrumentos de Indicação e Outros				
FIT-103	FIT1	Transmissor de Vazão (Linha de entrada TAQ)	TAQ	Fieldbus
FIT-204	FIT3	Transmissor de Vazão (Linha de entrada TP Fria)	TP	Fieldbus
FIT-205	FIT2	Transmissor de Vazão (Linha de entrada TP Quente)	TP	Fieldbus
LG-101	LG1	Visor de Nível (Local)	TAQ	Visual
LG-201	LG2	Visor de Nível (Local)	TP	Visual
Continua na próxima página				

Tabela 1 – continuação

Novo TAG	TAG Antigo	Descrição	Unidade	Tipo de Sinal
P-101	BA1	Bomba Centrífuga (Alimentação)	TR	Elétrico
P-201	BA2	Bomba Centrífuga (Recirculação/Drenagem)	TP	Elétrico
KM-101	-	Contator de alimentação da Bomba P-101	TR	Elétrico de Potência
KM-201	-	Contator de alimentação da Bomba P-201	TP	Elétrico de Potência
KM-102	-	Contator de alimentação de TZ-102	TAQ	Elétrico de Potência
CLP, Rede e Computadores				
CLP-1	CLP1	Controlador Lógico Programável	Campo	Serial
FFGW-1	-	Gateway Fieldbus Foundation	Campo	Fieldbus
PC-1	PC1	Computador de Supervisão	Sala de Controle	Serial / Fieldbus

2.3 Descritivo Funcional das Malhas

2.3.1 Malha de Controle de Nível do TAQ

A finalidade desta malha é manter o nível de água do Tanque de Aquecimento (TAQ) no setpoint definido. O transmissor de nível LIT-101 (pressão diferencial) comunica a variável de processo ao controlador LIC-101 via rede Fieldbus. O controlador opera em malha fechada, calcula a ação corretiva e envia o comando ao conversor LY-101, que converte o sinal para o formato adequado ao atuador e pilota a válvula pneumática LV-101, modulando a entrada de água proveniente do reservatório. Medidas de segurança e alarmes locais estão associadas a limites alto/baixo de nível.

2.3.2 Malha de Controle de Temperatura do TAQ

Esta malha regula a temperatura do fluido no TAQ. O transmissor TIT-102 mede a temperatura e transmite ao controlador TIC-102. O controlador compara com o setpoint e transmite o sinal de controle para o módulo de potência TY-102, que atua sobre o elemento final TZ-102 (resistor de potência), que opera em controle proporcional modulado para ajustar a potência de aquecimento e manter a temperatura desejada. Sinalização e supervisão são realizadas via Fieldbus.

2.3.3 Malha de Controle de Nível do TP

Responsável por manter o nível do Tanque de Produto (TP) no valor de setpoint. O transmissor LIT-201 mede o nível e envia ao controlador LIC-201. O controlador atua sobre a válvula LV-201, regulando a entrada de água fria (diretamente do reservatório) para o TP. O laço é projetado para resposta estável à variação de carga, com alarmes configurados para condições de nível crítico.

2.3.4 Malha de Controle de Temperatura do TP

Controla a temperatura da mistura no Tanque de Produto. A medida de temperatura é feita por TIT-202 e enviada a TIC-202, que calcula a ação de controle. O atuador é a válvula de controle TV-202, que regula o fluxo de água quente proveniente do TAQ; ao modular esse fluxo, ajusta-se a energia fornecida ao TP e, conseqüentemente, sua temperatura.

2.3.5 Malha de Controle de Vazão de Saída

Esta malha controla a vazão de escoamento do TP para manter a taxa de saída desejada. O transmissor de vazão FIT-203 fornece a medida ao controlador FIC-203, que atua sobre a válvula FV-203 (linha de saída), permitindo direcionar o fluxo para retorno ao reservatório ou descarte. O controlador mantém o setpoint de vazão e garante estabilidade diante de perturbações de nível e entrada.

2.4 P&ID

A figura 1 mostra o diagrama de projeto atualizado.

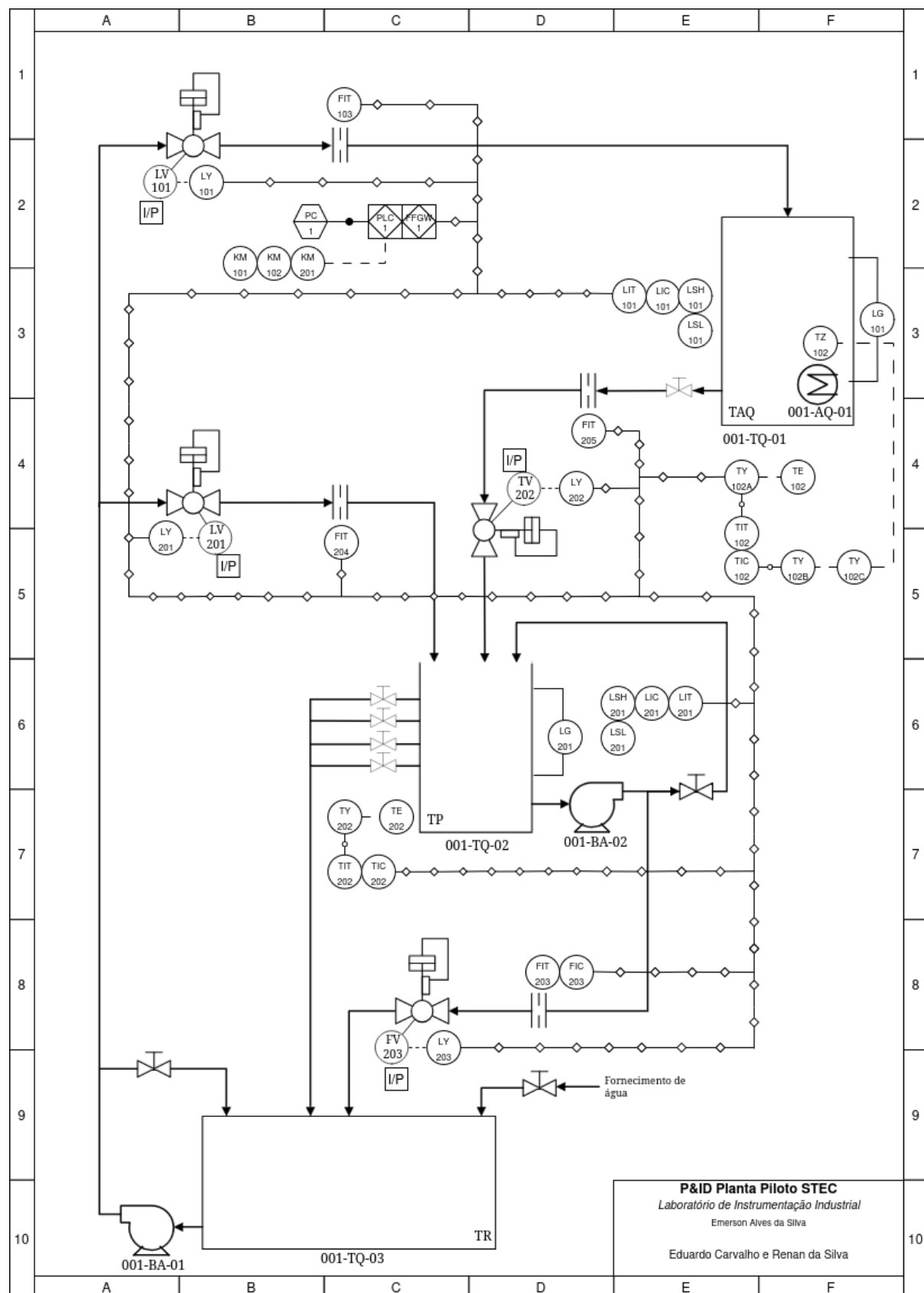


Figura 1: Diagrama P&ID atualizado da planta STEC

3 Configuração da Rede Foundation Fieldbus

A configuração do sistema de automação foi realizada utilizando o software Syscon (System302 da SMAR). A arquitetura de rede implementada segue a topologia mista definida no projeto, composta por:

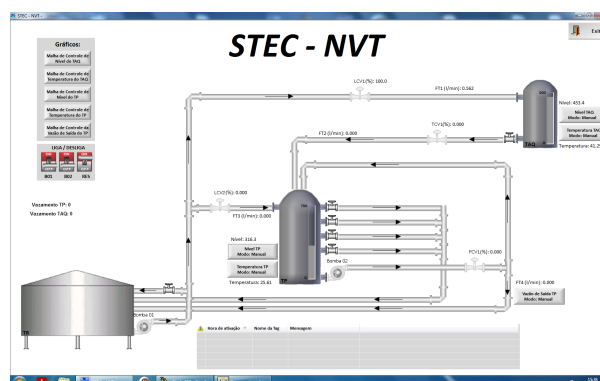
- **Nível HSE (High Speed Ethernet):** Rede de alta velocidade (100 Mbps) para supervisão e controle, interligando a estação de engenharia e a controladora DFI302.
- **Bridge (DFI302):** Atua como gateway entre as redes HSE e H1, além de processar blocos lógicos complexos.
- **Nível H1 (31.25 kbps):** Barramento de campo onde residem os instrumentos inteligentes.

A estratégia de controle foi distribuída nos dispositivos de campo. Para cada malha (ex: Malha 202 - Temperatura do TP), instanciaram-se os blocos funcionais conforme a norma:

1. **Bloco AI (Analog Input):** No transmissor TIT-202, responsável pela aquisição e linearização da temperatura.
2. **Bloco PID:** Configurado para executar o algoritmo de controle, recebendo a PV do bloco AI e o Setpoint (SP) via supervisor.
3. **Bloco AO (Analog Output):** No conversor FI302 (TAG CONV-02), recebendo o sinal de controle (MV) do PID e convertendo-o em corrente (4-20 mA) para atuar na válvula pneumática TV-202.

Todos os dispositivos foram configurados com os blocos mandatórios *Resource* (RSC), *Transducer* (TRD) e *Display* (DSP) para garantir o correto gerenciamento de recursos e diagnóstico.

2 mostra a tela inicial do supervisor do sistema.



Os blocos configuração dos instrumentos de temperatura e vazão é apresentada na figura 4.

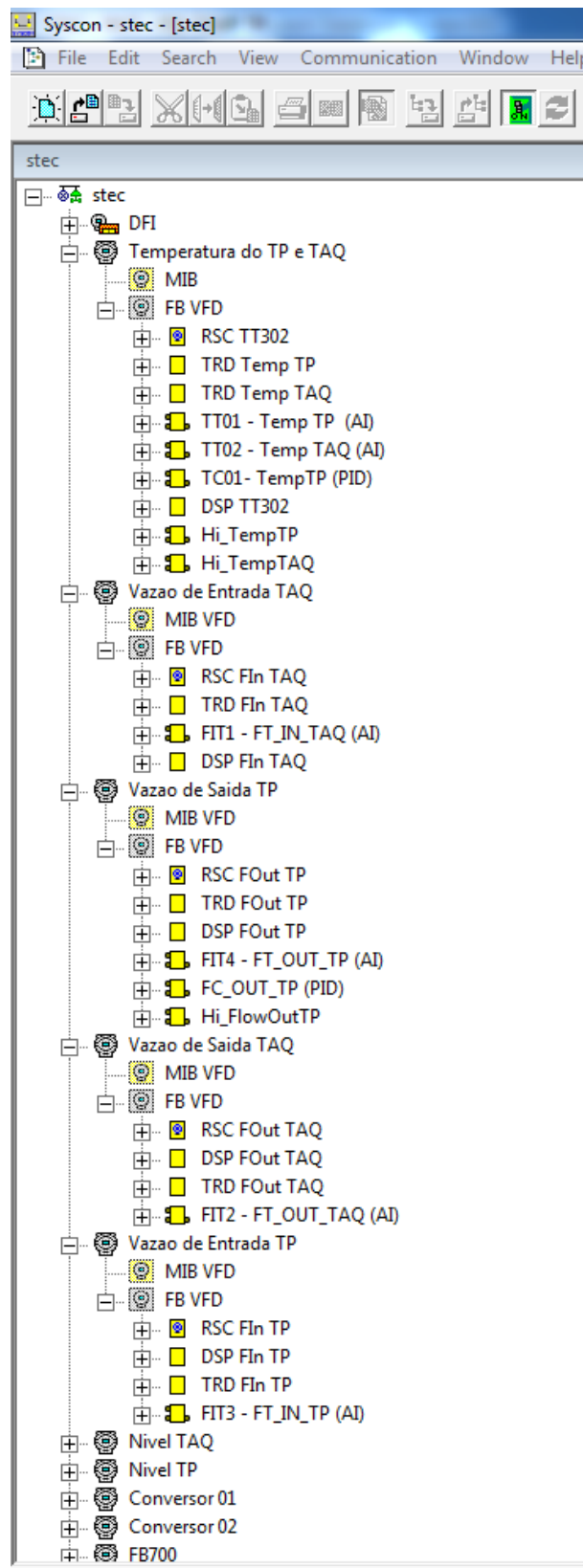


Figura 4: Configuração dos instrumentos de temperatura e vazão no Syscon

A figura 5 mostra a configuração do transmissor de nível e dos conversores de sinal no software Syscon.

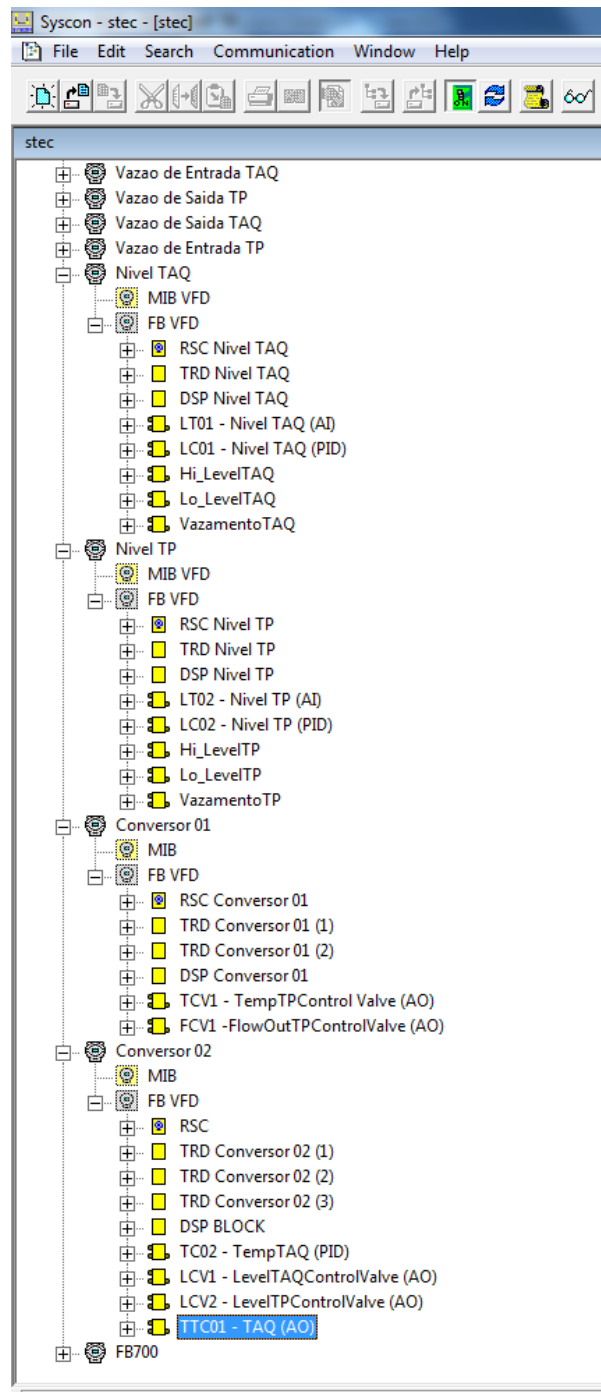


Figura 5: Configuração do transmissor de nível e conversores de sinal no Syscon

Por fim, a figura 6 mostra a configuração do gateway CLP no software Syscon.

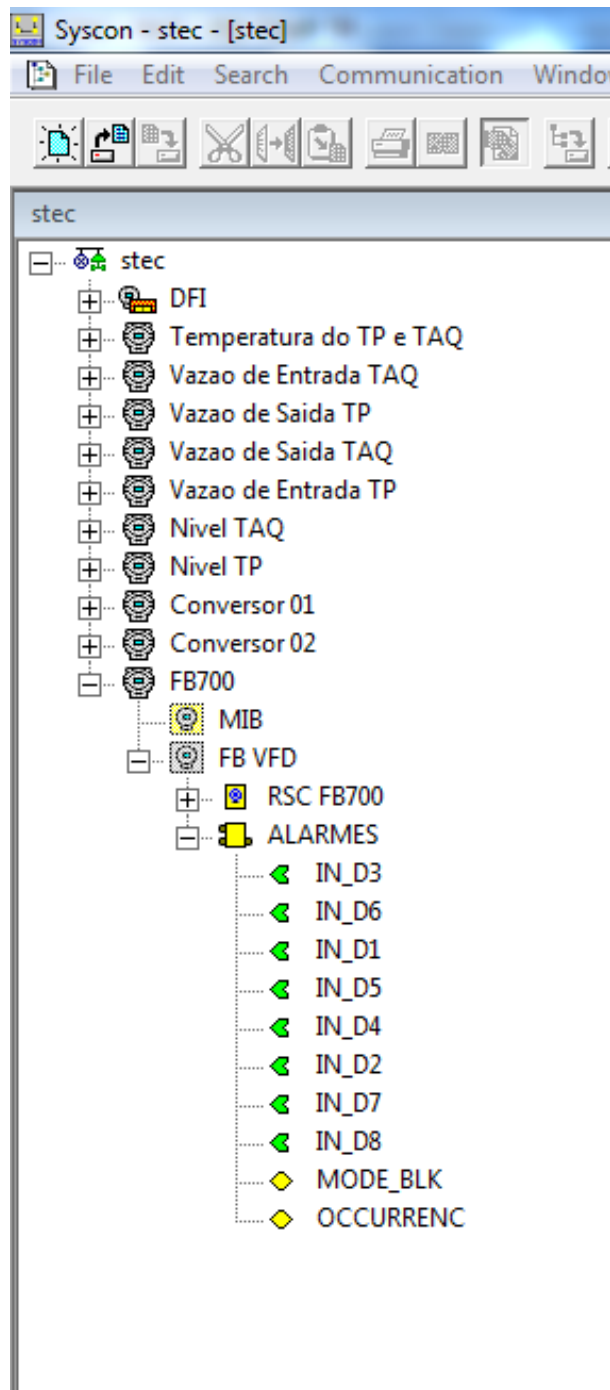


Figura 6: Configuração do gateway CLP no Syscon

4 Calibração do Transmissor de Nível LIT-101

O procedimento de calibração do transmissor de nível LIT-101 foi realizado comparando-se os valores indicados pelo instrumento (via rede Fieldbus) com os valores de referência observados no visor de nível local (padrão), cobrindo a faixa de operação do Tanque de Aquecimento (TAQ).

Considerando as características construtivas da planta, foram observadas as seguintes elevações para a análise da pressão da coluna líquida:

- Altura entre o mínimo do visor e a saída de água (h_1): 65 mm.
- Altura entre a tomada de pressão e o sensor (h_2): 265 mm.
- Altura entre o máximo do visor e o ladrão (h_3): 20 mm.

4.1 Dados Coletados

A Tabela 2 apresenta os dados coletados durante o ensaio.

Tabela 2: Dados de Calibração: Visor Local vs. LIT-101

Ponto	Padrão - Visor (mm)	Indicado - LIT-101 (mm)
1	485.0	480.5
2	449.0	448.7
3	398.0	395.3
4	350.0	347.7
5	298.0	297.9
6	252.0	252.2
7	201.0	202.0
8	147.0	149.8
9	104.0	105.8
10	65.0	66.8

4.2 Curva de Calibração e Regressão Linear

A partir dos dados experimentais, aplicou-se o método dos mínimos quadrados para obter a curva de calibração estática, relacionando a indicação do instrumento (y) com o valor padrão (x). A equação da reta ajustada é dada por:

$$y = 0.9863 \cdot x + 3.5435 \quad (1)$$

O coeficiente de determinação obtido foi $R^2 = 0.99994$, indicando um altíssimo grau de linearidade e ajuste do modelo aos dados. A Figura 7 ilustra a curva de calibração e os pontos medidos.

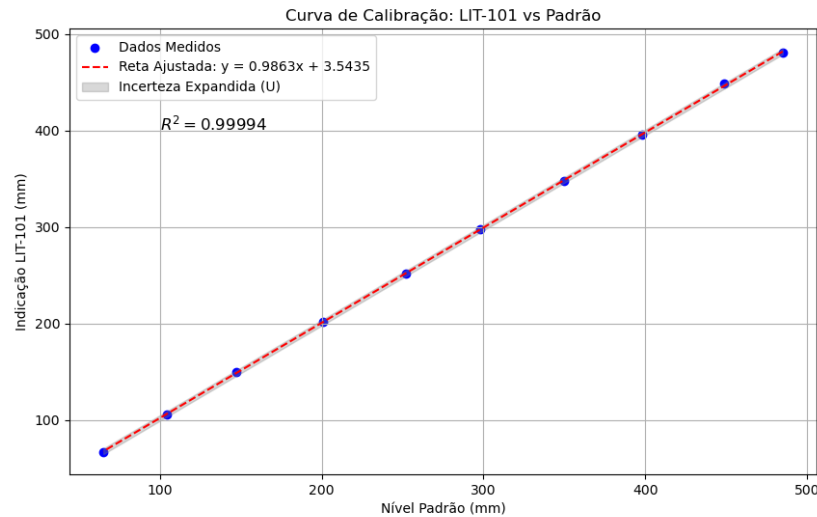


Figura 7: Curva de Calibração do LIT-101 com reta de regressão ajustada

4.3 Análise de Incertezas e Erros

A incerteza do sistema de medição foi estimada considerando a dispersão dos dados em relação à reta ajustada (incerteza do tipo A). Conforme metodologia simplificada para esta etapa, desconsiderou-se a incerteza herdada do padrão e a covariância dos parâmetros da reta.

- **Desvio Padrão dos Resíduos (S_y):** 1.2093 mm.
- **Incerteza Padrão (u):** Calculada pela razão entre S_y e o coeficiente angular (a), resultando em 1.2260 mm.

- **Graus de Liberdade (ν):** Com $n = 10$ pontos, $\nu = n - 2 = 8$.
- **Incerteza Expandida (U):** Para um nível de confiança de 95,45%, utilizou-se o fator de abrangência t-Student $t_{95.45,8} \approx 2.37$.

$$U = t \times u = 2.3664 \times 1.2260 \approx 2.90 \text{ mm} \quad (2)$$

Portanto, o resultado da calibração indica uma incerteza expandida de **2.90 mm** para o transmissor.

4.3.1 Linearidade e Erro Fiducial

A linearidade foi calculada como o maior resíduo absoluto em relação à reta de calibração, e o erro fiducial como o maior erro absoluto em relação ao padrão dividido pelo fundo de escala (Span = 500 mm).

- **Linearidade:** 2.32 mm (0.46% do Span).
- **Erro Máximo (Leitura - Padrão):** 4.50 mm.
- **Erro Fiducial:** 0.90%.

Os resultados demonstram que o transmissor opera dentro de limites aceitáveis de precisão para o controle de nível proposto na planta STEC.

5 Conclusão

O trabalho cumpriu os objetivos de modernização da documentação técnica e garantia da confiabilidade metrológica da planta didática STEC. As atividades desenvolvidas permitiram a integração entre os conceitos normativos de instrumentação e a prática de configuração de redes industriais.

No que tange à documentação, a revisão do Fluxograma de Processo e Instrumentação (P&ID) e a reestruturação das tags conforme a norma ANSI/ISA-5.1-2009 proporcionaram uma identificação mais lógica e rastreável dos ativos, dividindo a planta nas unidades de Aquecimento (100) e Produto (200). Essa padronização é fundamental para a manutenção e operação segura do sistema.

A configuração da rede Foundation Fieldbus via software Syscon validou a arquitetura de controle distribuído. A correta instanciamento e encadeamento dos blocos funcionais (AI, PID, AO) e dos blocos de recursos (Resource e Transducer) permitiram que a estratégia de controle fosse efetivamente implementada nos dispositivos de campo, garantindo a comunicação entre a instrumentação e o sistema supervisor.

Em relação à calibração do transmissor de nível LIT-101, a análise estatística dos dados coletados comprovou a linearidade do instrumento, evidenciada por um coeficiente de determinação (R^2) próximo da unidade. A incerteza expandida calculada de aproximadamente 2.90 mm, para um nível de confiança de 95.45%, demonstra que o erro de medição é pouco significativo em relação à faixa de operação do tanque (Span de 500 mm). A análise de erros fiduciais confirmou que o sensor opera em limites aceitáveis de precisão.

Conclui-se, portanto, que a planta STEC encontra-se apta para operações de controle, com sua instrumentação devidamente documentada, configurada e validada metrologicamente. O procedimento destacou a importância da calibração periódica e da análise de incertezas para garantir a qualidade das variáveis de processo em malhas de controle industrial.