

## 9º Aula - Instrumentação Digital (Foundation Fieldbus): STEC

**Objetivos:**

- Conhecer a planta STEC (Sistema de Tanques para Estudo de Controle)
- Entender um fluxograma do processo, a instrumentação e o padrão digital Foundation Fieldbus para Nível, Vazão e Temperatura.

---

### 9.1. INTRODUÇÃO

O STEC-NVT, Sistema de Tanques para Estudo de Controle de Nível, Vazão e Temperatura, consiste em um sistema integrado de tanques, sendo eles o tanque de produto, TP, o tanque de aquecimento, TAQ, e o tanque reservatório, TR. Este sistema foi projetado e implementado por (CARVALHO, 1998) e utilizado por (TORRES, 2002) para estudos de sintonia de controladores. O STEC foi concebido para demonstrar o controle e automação de forma distribuída por meio de uma rede com tecnologia Foundation Fieldbus (FF). Portanto, ele contém instrumentos digitais e inteligentes (Fieldbus) com capacidade de processamento local suficiente para executar funções diversas, e.g., algoritmo PID integrados, filtros, etc., de modo que o controle seja distribuído.

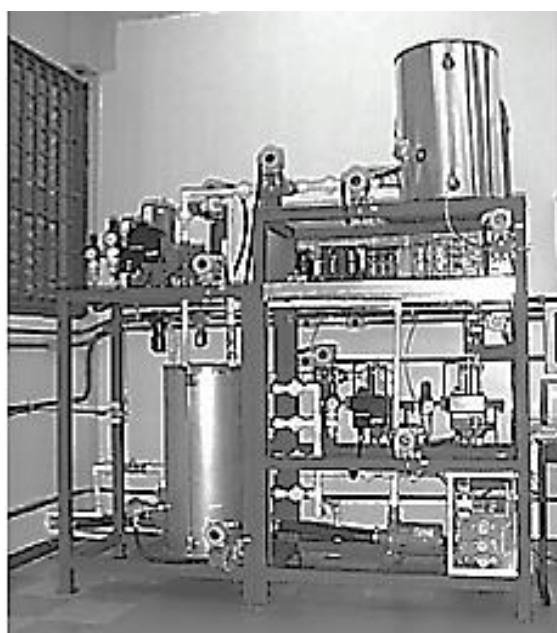


Figura 9.1. Sistema de Tanques para Estudo de Controle (STEC).

Esse sistema possui cinco malhas de controle, sendo três no TP (vazão, nível e temperatura) e duas no TAQ (vazão e temperatura). A comunicação dessas malhas de controle é feita por meio do protocolo Foundation Fieldbus, nível H1. A Figura 9.1 mostra uma fotografia do sistema STEC enquanto a Figura 9.2 (PERSECHINE e ROSA, 2011) mostra o P&ID desse sistema de tanque.

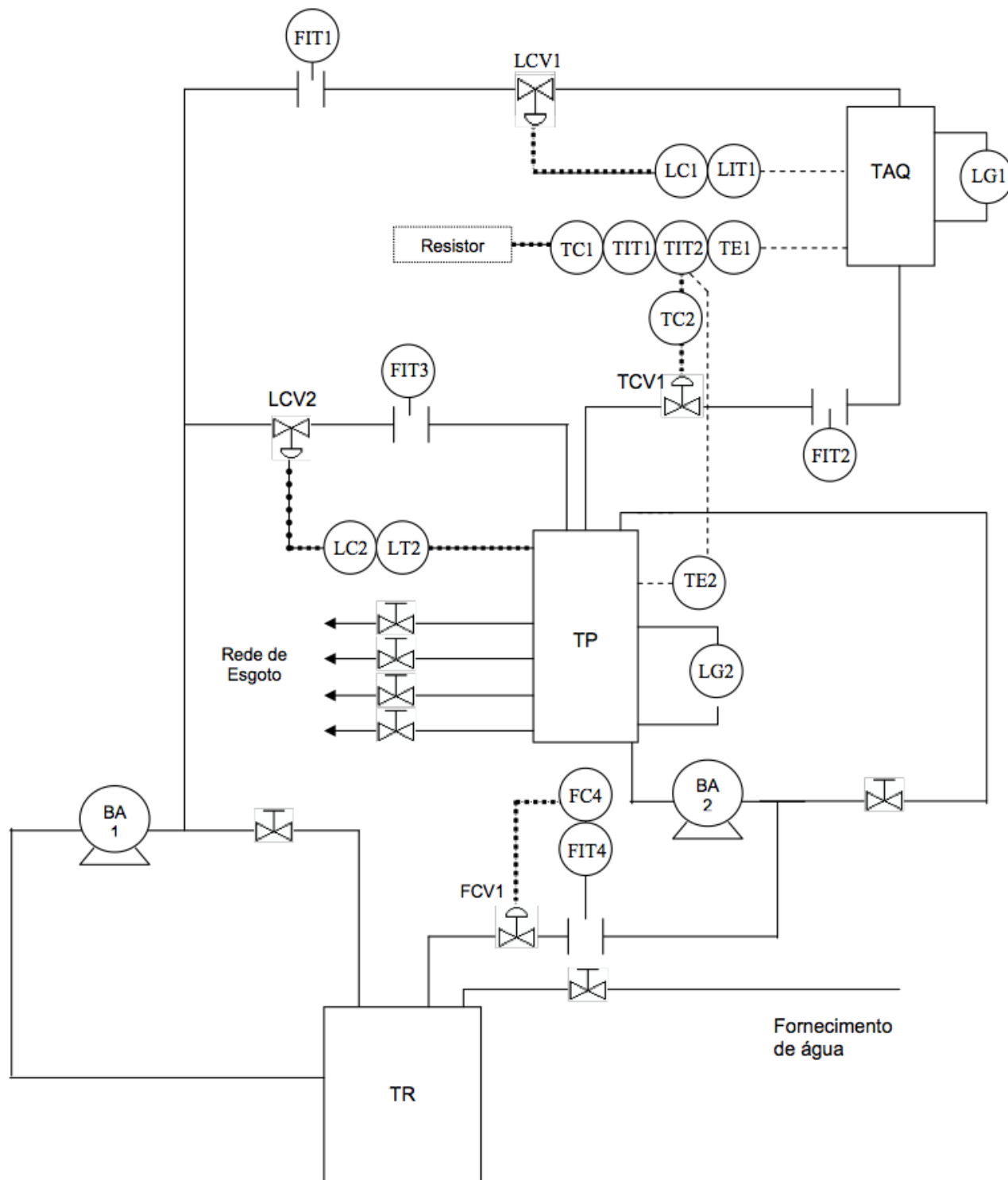


Figura 9.2. P&ID da planta STEC (PERSECHINE, 2011) conforme norma ISA-S5.1 / R1992.

Assim, a água do tanque reservatório (TR) é bombeada por meio da bomba de água BA1 para os tanques de aquecimento (TA) e de produto (TP). O tanque de aquecimento é responsável por aquecer a

água do reservatório, por meio de um resistor de aquecimento. A água aquecida é utilizada na alimentação do tanque de produto, TP, que também é alimentado por água fria. No tanque de produto, a bomba de água BA2 é responsável pelo retorno da água ao próprio TP e para o reservatório.

### 9.1.1. ATUADORES

O STEC possui três tipos de atuadores, sendo todos descritos a seguir.

#### BOMBAS CENTRÍFUGAS

O sistema consta com duas bombas de 1/4 CV. A bomba BA1 é responsável por bombear a água presente no TR para o TA e para o TP, além de fazer com que a água recircule de volta ao reservatório. A bomba BA2 é responsável pelo bombeamento da água do TP para o reservatório, além de fazer a recirculação de volta ao tanque de produto.

#### VÁLVULAS DE CONTROLE

O sistema possui 4 válvulas de controle industriais, sendo elas:

- **TCV-001:** atua na vazão do TA para o TP – Variável de controle: temperatura do TP.
- **FCV-001:** atua na vazão do TP para o TR – Variável de controle: vazão de saída do TP para o TR.
- **LCV-001:** atua na vazão do TR para o TA – Variável de controle: nível do TA.
- **LCV-002:** atua na vazão do TR para o TP – Variável de controle: nível do TP.

As quatro válvulas possuem corpo tipo esfera e atuador pneumático tipo cilindro, com posicionador, que recebe o sinal de controle no padrão analógico 4 a 20 mA. Para serem integradas à rede Fieldbus, as válvulas precisam de um módulo conversor, capaz de converter o sinal de controle, enviado no padrão Fieldbus para o padrão em corrente de 4 a 20 mA. Este módulo é o **FI302**, que possui 3 canais de saída, permitindo a conexão de até 3 válvulas de controle. No caso do STEC-NVT há dois conversores FI302, sendo que a um deles são conectadas as válvulas LCV-001 e LCV-002 e ao outro são conectadas as válvulas TCV-001 e FCV-001. A Figura 9.3, a seguir, apresenta o diagrama esquemático do circuito deste conversor.

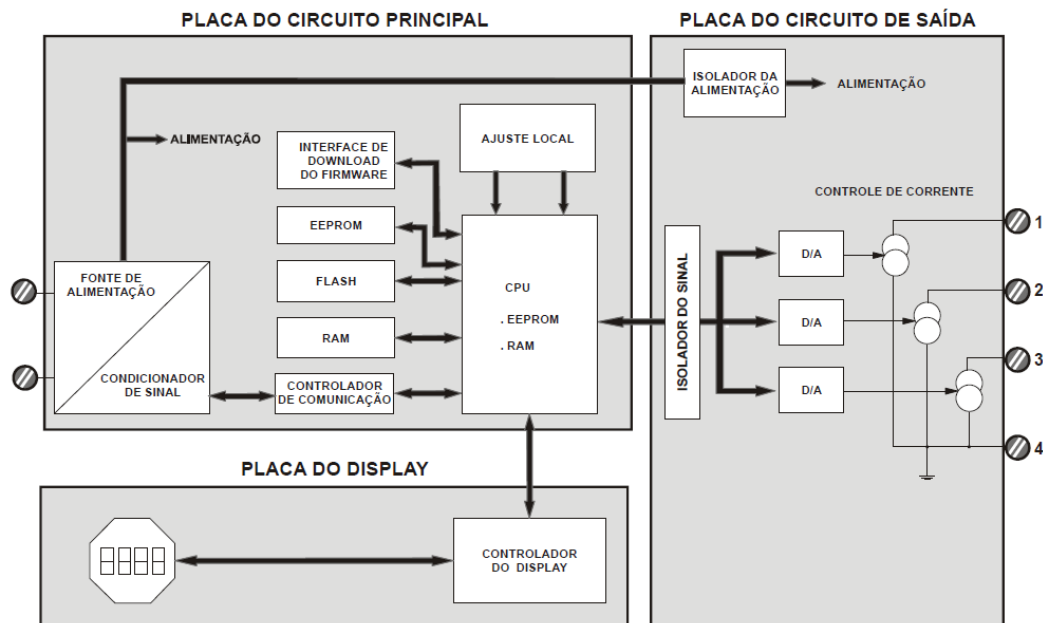


Figura 9.3. Diagrama esquemático do conversor FI302.

## RESISTOR AQUECEDOR

Um resistor trifásico, conexão Y, com potência nominal de 12 kW é responsável pelo aquecimento da água no tanque TAQ.

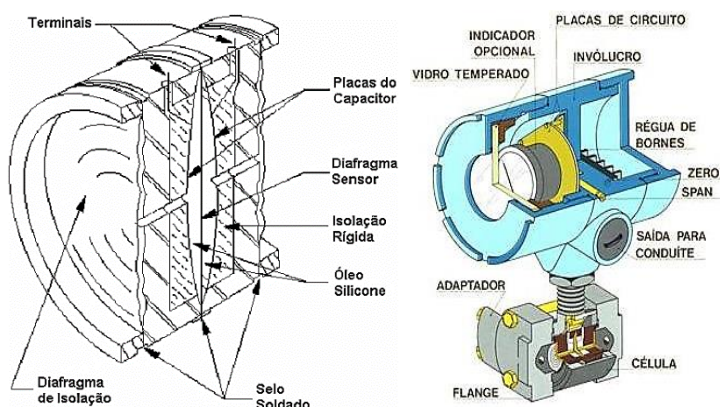
### 9.1.2. SENSORES

Toda a instrumentação do STEC-NVT é digital, padrão Foundation Fieldbus e fabricada pela SMAR ([www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)).

## VAZÃO

Existem quatro sensores de vazão, **FIT-001**, **FIT-002**, **FIT-003** e **FIT-004**, que medem, respectivamente a vazão do TR para o TA, a vazão do TA para o TP, a vazão do TR para o TP e vazão do TP para o TR.

O elemento sensor destes instrumentos são do tipo orifício integral (utilizados para medir pequenas vazões, como é o caso do STEC-NVT). Para medir a pressão diferencial, utiliza-se o **LD302**, tipo célula capacitiva. O LD302 possui em seu circuito um sensor para compensação das variações de temperatura. Na fábrica, cada transmissor é submetido a vários ciclos de temperatura. As características do sensor sob diferentes temperaturas são gravadas na memória do LD302. No campo, o efeito da variação de temperatura é minimizado devido a esta caracterização. A Figura 9.4, apresenta os detalhes construtivos deste instrumento.



Este sensor mede a partir da deformação efetuada pela pressão do processo que se deseja medir em uma das placas do elemento **capacitivo** (**diafragma** - eletrodo móvel do capacitor). Tal deformação altera o valor da capacitância total que é medida por um circuito eletrônico.

Figura 9.4: Detalhes de uma célula capacitiva / transmissor de pressão diferencial

A Figura 9.5 mostra o diagrama esquemático do LD302.

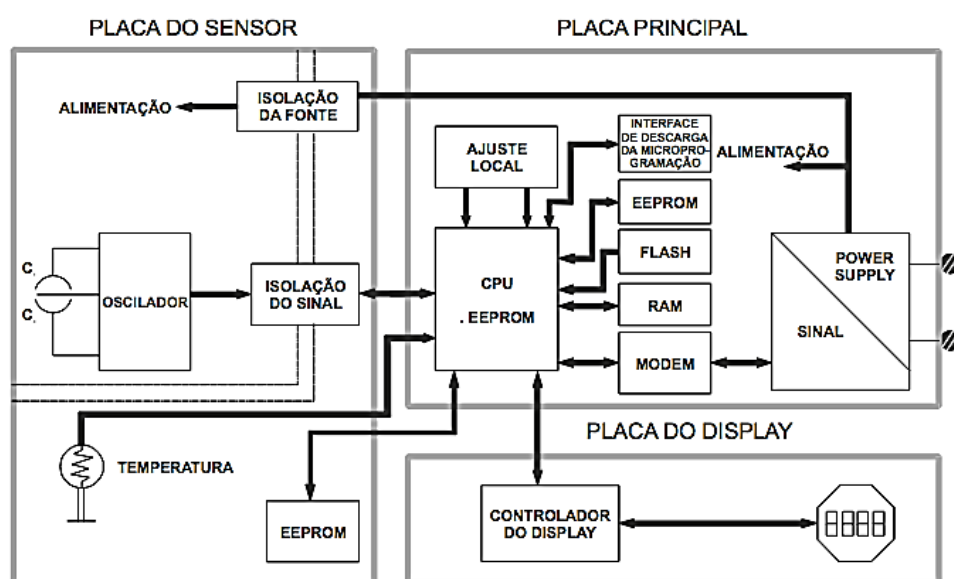


Figura 9.5: Diagrama esquemático do circuito do transmissor LD302.

## TEMPERATURA

Existem dois sensores de temperatura, **TIT-001** e **TIT-002**, localizados, respectivamente, no tanque TA e no tanque TP. O elemento sensor é um RTD tipo PT100 ( $100\ \Omega$  a  $0^\circ\text{C}$ ). O instrumento TT302 (Smar) permite a conexão de até 2 elementos sensores tipo RTD ou termopar diretamente ou a saída em tensão de dois transmissores analógicos de temperatura, como é o caso do STEC-NVT, que utiliza um único transmissor/controlador para os sensores TIT-001 e TIT-002. Para mV, a faixa é de -50 a 500mV e para resistência, de 0 a 2000 ohms. A Figura 9.6 apresenta o diagrama de funcionamento do TT302.

## NÍVEL

Existem dois sensores de nível, **LIT-001** e **LIT-002**, que medem, respectivamente, os níveis dos tanques TA e TP. O transmissor utilizado é o **LD302** (Figura 9.5), o mesmo modelo utilizado para os

elementos sensores de vazão, uma vez que a medição de nível é realizada por meio da medição da pressão exercida pela coluna d'água de cada tanque.

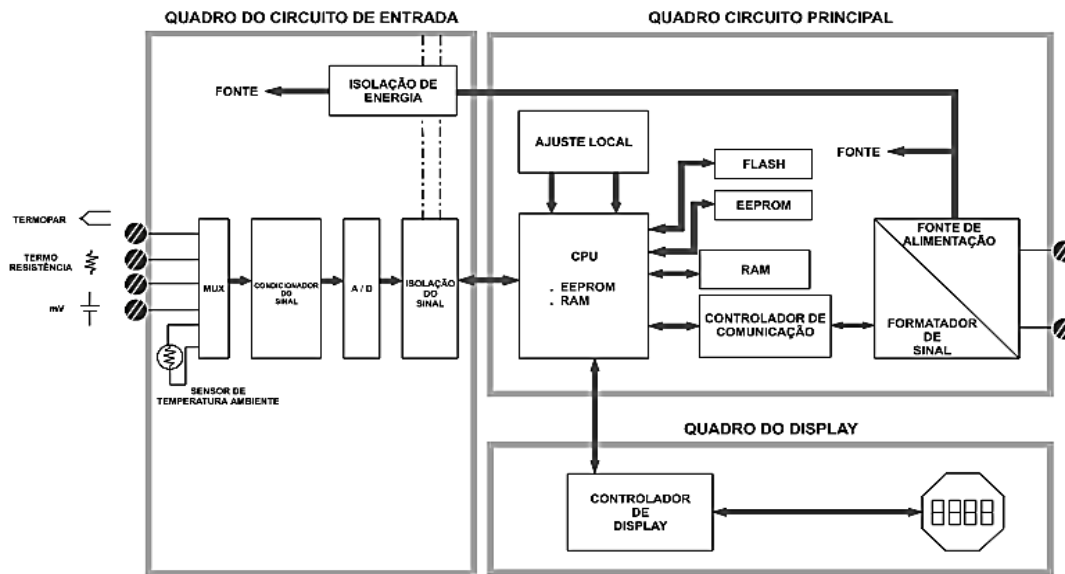


Figura 9.6: Diagrama esquemático do circuito do transmissor TT302.

### 9.1.3. ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO DO STEC-NVT

O STEC possui, além dos instrumentos inteligentes, dois componentes cruciais para o seu funcionamento: o CLP **LC700** e a plataforma **DFI302**. Estes dois equipamentos podem ser entendidos como controladores, integrados, do sistema de controle e automação do STEC.

O **LC700** é responsável por todo controle lógico e sequencial do STEC, *e.g.*, intertravamentos lógicos, acionamentos das bombas, detecção de nível alto, etc. Por meio de um cartão de comunicação FF o CLP se comunica com o barramento, podendo ler dados dos instrumentos instalados.

A plataforma **DFI302** é responsável pela configuração da rede Foundation Fieldbus dos instrumentos, incluindo o CLP **LC700**. Ela possui uma *Bridge* Foundation Fieldbus para os níveis HSE-H1 (**DFI51**), um cartão H1 (**DFI53**) com 4 portas (16 instrumentos por porta) e 2 módulos fontes de alimentação, um para cada unidade citada.

Um computador tipo PC é utilizado para comunicação, configuração e programação tanto do **LC700** (via porta serial COM1, Modbus) quanto a **DFI302** (via porta Ethernet, HSE). Dois servidores OPC são necessários para disponibilizar os dados provenientes do STEC para o sistema SCADA configurado. Um servidor, o Kepware OPC Server, realiza a comunicação com CLP **LC700** e o Smar DFI OLE Server com a controladora **DFI51**. Desta forma, todas as variáveis de campo podem ser lidas, ou receber escritas, do sistema SCADA desenvolvido para o STEC. A Figura 9.7 apresenta a arquitetura de controle e automação do STEC.

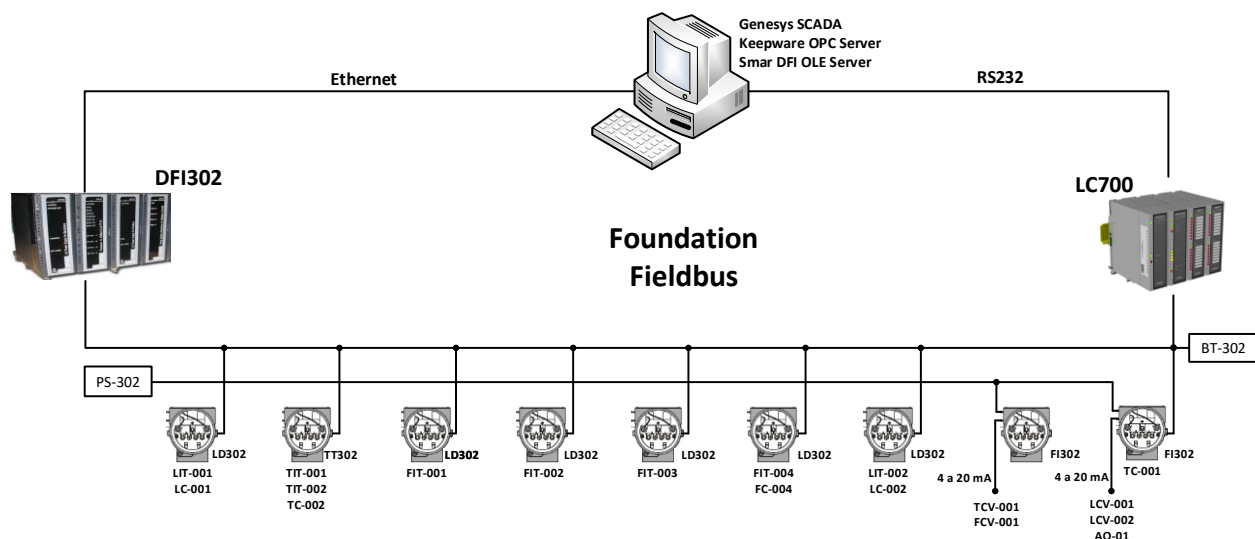


Figura 9.7. Arquitetura de controle e automação do STEC.

## 9.2. PARTE EXPERIMENTAL

### 9.2.1. RECURSOS E EQUIPAMENTOS

- Sistemas de Tanques para Estudo de Controle de Nível, Vazão e Temperatura (STEC-NVT);
- Softwares: Genesis302, System302 e CONF700.

### 9.2.2. PROCEDIMENTOS

1. Analise e identifique o fluxo de processo da planta piloto STEC-NVT. Identifique os instrumentos, controladores, *gateways (bridge)* e protocolos de rede. Observe o funcionamento da planta por meio do software SCADA Indusoft Web Studio.
2. O diagrama P&I apresentado na Figura 9.2 foi implementado segundo a revisão de 1992 da norma ANSI/ISA-5.1 e contendo erros. Considerando as tabelas e notas disponíveis no Moodle sobre a norma, bem como os seus conhecimentos, **realize uma atualização desse diagrama P&I para a revisão de 2009** desta norma, contemplando, principalmente:

- **TAGs dos Elementos Finais de Controle:** todos os elementos finais de controle estão com TAGs errados: TCV, FCV e LCVs. Terminação ...CV pela norma ISA 5.1 são válvulas de controle auto operadas, também conhecidas como válvulas controladoras<sup>1</sup>. Portanto, **todos esses TAGs** devem ser substituídos por TV, FV ou LVs. Outro problema refere-se ao atuador da malha de temperatura do tanque de aquecimento (TAQ), que foi

<sup>1</sup> Exemplo de uma FCV em (<https://www.bermad.com.br/product/va-160/>)  
Exemplo de uma LCV em (<https://www.hidrotech.com.br/produto/controladora-de-nivel-modelo-450-66>)

- representado sem seguir o padrão, palavra “resistor”. Logo, ele deve ser representado da forma correta, ex.: por um TZ.
- **Numeração dos TAGs utilizando Unidade e Malhas de Controle:** conforme estão listados na Figura 9.2, os TAGs estão com a numerações erradas e confusas, sendo que nenhum deles observa uma definição de unidade, nem malha de controle. Um exemplo é a malha de controle da vazão de saída do tanque de produto (TP), formada por FIT-004 → FC-004 → FCV-001, numerações 1, 2, ..., 4, ... sozinhas não fazem sentido. Portanto, proponha uma definição de unidade, ex.: TAQ unidade 1... e TP unidade 2..., bem como de malhas de controle, ex.: controle de nível ...01, de temperatura ...02, de vazão ...03, **para todos os TAGs**. Dessa forma, a malha de controle de vazão mencionada seria FIT-203 → FC-203 → FV-203, e repare que todos os componentes da malha possuem a mesma numeração.
  - **Conversores de Sinais:** os conversores de sinais 01 e 02 não foram representados. Portanto, deve-se incluir o conversor 01, associado às válvulas TV e FC, bem como o conversor 02, associado às válvulas LVs e ao módulo de potência do resistor de aquecimento do TAQ.
  - **Múltipla função:** as estratégias de controle no STEC são implementadas de forma distribuída, logo, muitos instrumentos exercem múltiplas funções e de forma compartilhada, lembrado que eles estão no campo. Em alguns casos existem mais de 4 funções. Logo, para evitar de se desenhar várias “bolhas” múltiplas, é interessante expressar as funções de outra forma, conforme recomendado pelo padrão na Figura 9.8.

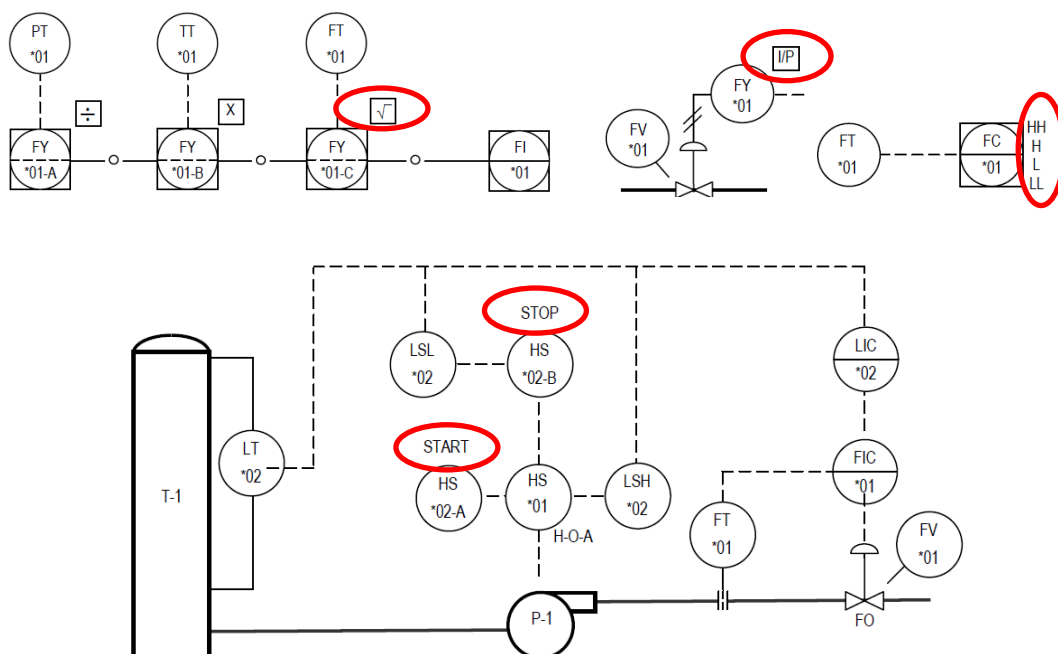


Figura 9.8. Formas alternativas de representar funções.



- **Chaves de “alto e baixo”:** nenhuma chave de nível, temperatura ou vazão, foi representada. Mesmo sendo implementadas como funções nos instrumentos (FB internos) elas precisam ser indicadas, principalmente o intertravamento que realizam.
- **Acionamento dos atuadores:** o acionamento das bombas não foi representado. Lembre-se que elas possuem acionamento manual, porém remoto, via sistema SCADA e CLP. Ainda assim, todas as bombas possuem **intertravamentos** que ocorrem mediante **acionamento das chaves (FB internas aos instrumentos) no CLP**. O acionamento das válvulas e do módulo de potência do resistor, foram feitos de forma errada, sem considerar os conversores de sinal.
- **Representação do CLP e do Gateway (Bridge):** Tanto o CLP LC700, como o *gateway (bridge)* DFI302 não foram representados, portanto, deve-se inclui-los no novo P&I. Atente-se para o tipo de sinal que eles utilizam e com quais dispositivos eles se comunicam.
- **Tipos de sinais:** os sinais para comunicação entre instrumentos Fieldbus Foundation não estão representados, pois não existiam à época. Portanto, é importante consultar os tipos de sinais existentes na versão 2009 da ANSI/ISA-5.1, bem como suas aplicações, e utilizá-los da forma correta no novo P&I. Atente-se para o fato que a planta piloto STEC-NVT utiliza os três primeiros níveis da Pirâmide de Automação: 1-Instrumentação, 2-Controladores e 3-Sistemas SCADA.
- **Indicações das variáveis remotamente:** o P&ID deve contemplar os instrumentos de campo e suas funções, os equipamentos de controle, bem como **todas as variáveis que são indicadas** remotamente (sala de controle). No caso, tais variáveis utilizam o gateway FF-H1 / FF-HSE para acesso.
- **RESOLUÇÃO do P&ID:** o P&ID é um documento de engenharia, um desenho, digitalizado. Portanto, ele DEVE ter ALTA RESOLUÇÃO. Caso contrário, não é possível a correção por parte do professor.

**ATENÇÃO:** No Moodle já se encontram os documentos necessários para a realização dessa tarefa, com destaque para as instruções normativas que acompanham a Tabela da ANSI/ISA-5.1.

3. O diagrama P&I deverá ser feito utilizando o novo Fluxograma de Processo do STEC, também disponível no Moodle. Reparem que ele se encontra em diversos formatos para que você tenha liberdade de utilizá-lo em qualquer software de desenho. Um software, gratuito, já foi sugerido e o seu link para download se encontra no Moodle.
4. Junto com o P&I atualizado, elabore uma Lista de Instrumentos da Planta Piloto STEC-NVT, completa. DICA: Consulte a Aula 07 – Documentação de Projeto Norma ANSI/ISA-5.1, do curso de Instrumentação Industrial, disponível no Moodle, para saber os campos de um LI completa.

5. Junto com o P&I atualizado, elabore também um Descritivos Funcional para cada malha de controle existente na Planta Piloto STEC-NVT. DICA: Consulte a Aula 07 – Documentação de Projeto Norma ANSI/ISA-5.1, do curso de Instrumentação Industrial, disponível no Moodle, para saber como deve ser um descritivo adequado.
6. Para facilitar a correção do relatório, crie uma lista referenciando os itens expressos no item 2, apontado quais modificações foram feitas, bem como as justificativas quando necessário. Pense em uma *checklist*.

### 9.3. REFERÊNCIAS

TORRES, Bernardo S.; “Sintonia de Controladores Pid Em Um Sistema Multimalhas”. Dissertação de Mestrado, PPGEE, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

PERSECHINI, M. A. M. Notas de aula de Laboratório de Controle e Automação II, da professora Maria Auxiliadora M. Persechini.

CARVALHO, N., L. Projeto e implementação de um sistema de tanques para controle de nível, vazão e temperatura, usando tecnologia Fieldbus”. Tese de Mestrado, PPGEE, Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.