

Lucas José da Silva Moreira

# **Relatório de Estágio Supervisionado**

Campina Grande, Brasil

Julho de 2016

Lucas José da Silva Moreira

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Univesidade Federal de Campina Grande - UFCG

Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI

Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

Orientador: Professor George Acioli Júnior, D. Sc.

Campina Grande, Brasil

Julho de 2016

---

Lucas José da Silva Moreira

Relatório de Estágio Supervisionado/ Lucas José da Silva Moreira. – Campina Grande, Brasil, Julho de 2016-  
24 p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Professor George Acioli Júnior, D. Sc.

Relatório de Estágio Supervisionado – Univesidade Federal de Campina Grande  
- UFCG  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE , Julho de 2016.

---

Lucas José da Silva Moreira

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

**Professor George Acioli Júnior, D. Sc.**  
Orientador

---

**Professor**  
Convidado

Campina Grande, Brasil  
Julho de 2016

*Aos meus familiares e amigos*

# Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade de estar nesse mundo e por todas as graças concedidas ao longo dessa jornada.

Agradeço aos meus pais, Marcos e Nadja, irmãos, Camila e Tiago, e toda a minha família por sempre acreditarem nos meus sonhos e motivarem para que alcance os mesmos durante toda a minha vida.

Aos meus amigos e colegas de curso, em especial Lucas Henriques, Érico Castro, Geraldo Landim, Oeslle Lucena, Felipe Gomes, Luciana Joviniano, Renata Garcia, entre outros que ajudaram tornar esses anos mais divertidos.

À minha namorada Layana, pelo companheirismo, amor e paciência.

Aos meus colegas do LIEC, sempre disponíveis para ajudar em diversos trabalhos.

Aos professores George Acioli Júnior e Péricles Rezende Barros, pela oportunidade de estagiar no LIEC e pelas orientações prestadas não só durante a realização do estágio, mas durante a maior parte do curso.

E a todos que um dia lerem esse relatório.

Vamos lá!

*"Eu não tenho ídolos.  
Tenho admiração por trabalho, dedicação e competência."  
Ayrton Senna*

# Resumo

Este relatório apresenta as atividades realizadas pelo aluno Lucas José da Silva Moreira durante o Estágio Supervisionado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação do Professor George Acioli Júnior e supervisão do Professor Péricles Rezende Barros. O principal objetivo desse trabalho é automação de uma planta didática por meio de um Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD).

**Palavras-chaves:** Planta Didática, Evaporador de Circulação Forçada, Automação, SDCD



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Faixada do prédio do LIEC . . . . .	2
Figura 2 – Planta didática SMAR PD3 modificada . . . . .	5
Figura 3 – Esquemático do evaporador de circulação forçada . . . . .	6
Figura 4 – Esquema de conexão de um SDCCD . . . . .	7
Figura 5 – Esquema de conexão do DeltaV . . . . .	9
Figura 6 – DeltaV M-series . . . . .	10
Figura 7 – Diagrama da Arquitetura de Programação do DeltaV . . . . .	12
Figura 8 – Bloco funcional genérico . . . . .	12
Figura 9 – Exemplo de implementação em SFC . . . . .	13
Figura 10 – Diagrama Implementado para a Planta . . . . .	15
Figura 11 – FDB para o Módulo TESTE . . . . .	16
Figura 12 – FDB para uma Malha de Controle . . . . .	17
Figura 13 – FDB para o Módulo MODOS . . . . .	18
Figura 14 – SFC para a rotina Inicialização . . . . .	19
Figura 15 – SFC para a rotina Espera . . . . .	20
Figura 16 – SFC para a rotina Espera . . . . .	21
Figura 17 – Sistema Supervisório . . . . .	22

# Lista de abreviaturas e siglas

UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
LIEC	Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle
DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
IHM	Interface Homem-Máquina
PWM	Pulse-Width Modulation
SISO	Single-input and single-output
PID	Proportional–Integral–Derivative
CLP	Controlador Lógico Programável
PC	Computador Pessoal
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
OPC	OLE for Process Control
FBD	Diagramas de Blocos Funcionais
SFC	Funções Gráficas de Sequenciamento

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LABORATÓRIO</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>PLANTA DIDÁTICA</b>	<b>4</b>
3.1	Descrição do Processo	4
3.2	Malhas de Controle	5
<b>4</b>	<b>SISTEMA DIGITAL DE CONTROLE DISTRIBUÍDO</b>	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>DeltaV</b>	<b>9</b>
4.1.1	Arquitetura de Programação	11
4.1.1.1	Diagramas de Blocos Funcionais	11
4.1.1.2	Funções Gráficas de Sequenciamento	12
<b>5</b>	<b>ATIVIDADES REALIZADAS</b>	<b>14</b>
<b>5.1</b>	<b>Configuração da Planta</b>	<b>14</b>
5.1.1	Módulo TESTE	15
5.1.2	Módulos das Malhas de Controle	16
5.1.3	Módulo MODOS	17
<b>5.2</b>	<b>Programação das Rotinas</b>	<b>17</b>
5.2.1	Inicialização	18
5.2.2	Espera	19
5.2.3	Emergência	20
<b>5.3</b>	<b>Tela de Supervisão</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>23</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>24</b>

# 1 Introdução

A disciplina Estágio Supervisionado, que compõe a grade curricular do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), tem como finalidade permitir que o aluno no término do seu curso de graduação aplique os conhecimentos adquiridos nas disciplinas ao longo da sua formação em atividades que aprimorem sua desenvoltura no âmbito profissional. Este relatório contém a descrição das tarefas realizadas entre o período de 20 de junho e 21 de julho de 2016 com carga horária de 40 horas semanais, totalizando 182 horas sob a orientação do professor George Acioli Júnior e supervisão do professor Péricles Rezende Barros.

O local de realização foi o Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), integrante do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da UFCG. Este situado na Rua Aprígio Veloso, 882, no Bairro Universitário, no município de Campina Grande, estado da Paraíba. O ponto principal das atividades executadas foi a automação da planta didática SMAR® PD3-F (SMAR, 2012) modificada para configuração de evaporador. Buscando uma integração entre o Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) Emerson DeltaV (EMERSON, 2010), Interface Homem-Máquina (IHM), equipamentos e procedimento a ser realizado.

Assim, um estudo prévio da planta foi realizado visando entender o processo descrito e os elementos que auxiliariam na automação e controle da planta. Com essas informações, o SDCD disponível foi configurado receber os dados disponíveis nos sensores e enviar comandos para os atuadores. Além disso, as malhas de controle disponíveis foram implementadas nele e supervisionadas por meio de alarmes e telas ilustrativas de operação numa estação dedicada. Rotinas de segurança e inicialização também foram programadas no SDCD com a finalidade de garantir segurança e agilidade no processo. Ainda foram solicitados uma documentação descritiva sobre os instrumentos e configuração da planta e uma apresentação sobre SDCDs para os alunos da disciplina Sistemas de Automação Industrial.

## 2 Laboratório

Criado em 1973, o LIEC vêm desenvolvendo pesquisa e extensão na área de controle, automação e instrumentação desde então. Este é pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG, sendo localizado no Setor C do Campus I, de Campina Grande. Sua estrutura física é de aproximadamente 600  $m^2$  divididos em oito laboratório de desenvolvimento duas salas de apoio técnico, salas para apresentação de trabalhos, salas para pós-graduação e de professores (LIEC..., 2016). Sua fachada é ilustrada na Figura 1 e os principais laboratórios são:



Figura 1 – Faixada do prédio do LIEC

- Laboratório de Aplicações Wireless: são desenvolvidas soluções baseadas em dispositivos móveis para ambientes industriais;
- Laboratório de Automação Industrial: aborda trabalhos com sintonia de controladores PID industriais (Mono e Multivariável), automação industrial, instrumentação industrial, IHM industrial e avaliação de confiabilidade em malhas de controle;
- Laboratório de Controle e Otimização: produz projetos de sintonia de controladores PID e modelagem e simulação de processos e sistemas supervisórios;
- Laboratório de Instrumentação eletrônica: são desenvolvidos projetos de sintonia de PID;
- Laboratório de Redes Industriais: permite o estudo de técnicas e tecnologias para a comunicação entre dispositivos industriais;

- Laboratório de RFID: desenvolvimento de aplicações baseadas em tecnologia RFID para ambientes industriais;
- Laboratório de UltraSom: trabalha-se com o desenvolvimento de sensor de incrustação e desenvolvimento de técnicas de medição de incrustação.

No LIEC, alunos de pós-graduação e de graduação encontram um ambiente propício ao aperfeiçoamento dos conhecimentos teóricos e das habilidades práticas, por intermédio das diversas pesquisas e outras atividades realizadas no mesmo.

## 3 Planta Didática

Processos em escada de laboratório vem sendo utilizados em universidades como uma ferramenta essencial para estudos acadêmicos, auxiliando os alunos a entender aplicações industriais e relacionar mais facilmente os conceitos teóricos com a realidade (FEISEL; ROSA, 2005). O uso de plantas didáticas é uma alternativa para ensino de engenharia com malhas de controle, equipamentos industriais, normas e protocolos.

Um dos processos mais populares na indústria alimentícia, química e farmacêutica é o evaporador (GLOVER, 2004), onde é realizado para concentrar uma solução com soluto não volátil e solvente volátil por meio de um trocador de calor. Existem várias configurações que executam com sucesso essa tarefa, uma delas é o evaporador de circulação forçada desenvolvido para processos líquidos suscetíveis a incrustações ou cristalizações nos encanamentos (COMPANY, 2000). Neste caso, a solução residual circula novamente com uma alta vazão para o aquecedor, aumentando assim a sua eficiência na separação da mistura.

### 3.1 Descrição do Processo

A configuração da Planta Didática SMAR® PD3-F, Figura 2, foi alterada de modo a possibilitar a implementação de um evaporador de circulação forçada. Este arranjo é ilustrado pela Figura 3, que contém um tanque de alimentação (Tanque 1) e outros dois tanques com as mesmas dimensões (Tanques 2 e 3). O Tanque 1 fornece água para o Tanque 2 por meio de uma bomba trifásica, acionada por um inversor de frequência (SC-001), por sua vez o Tanque 2 fornece água para o Tanque 3 e entre eles existe uma válvula proporcional (FV-002) que libera o fluido para uma caixa d'água instalada externamente. A saída do Tanque 3 é feita por outra bomba trifásica, também acionada por um inversor de frequência (SC-002), após esta existe uma tubulação que ligando ao Tanque 2 e outra controlada por uma válvula proporcional (FV-001) que também libera à caixa d'água. No sistema estudado foi considerado o Tanque 2 totalmente cheio, sendo utilizado como *buffer* para o Tanque 3. O Tanque 2 apresenta uma resistência (TV-001) de 11kW, controlada por meio de PWM (*Pulse-Width Modulation*) com ciclo de trabalho proporcional a um sinal de 4-20 mA, realizado por um microcontrolador. Este tem função de aquecer a água no Tanque 2 e ainda nesse existe um medidor de temperatura (TT-001). Além disso, o Tanque 3 apresenta medidor de nível (LT-001), um medidor de pressão (PT-001) e um de temperatura no tanque na saída (TT-002). Um outro medidor de temperatura está presente no Tanque 1 (TT-003).

A caixa d'água está conectada diretamente e ao mesmo nível do Tanque 1, fazendo



que a transferência de fluidos seja de forma natural, usando a gravidade. Esta tem um volume maior do que os outros tanques juntos de modo a servir como um resfriamento ao sistema. Após a troca de calor entre os ambientes o fluido retorna para o Tanque 1 resfriado. Ainda neste tanque existe uma bomba submersa (SC-003) controlada por meio de PWM que leva água para o Tanque 3 como uma maneira de distúrbio na temperatura e no nível. Considera-se em todo o processo que não ocorre mudança de fase no líquido presente por questões de segurança e conservação da planta. Assim a separação da mistura é simulada. Cada instrumento foi nomeado segundo a norma ISA 5.1 de 2009.



Figura 2 – Planta didática SMAR PD3 modificada

## 3.2 Malhas de Controle

Conhecendo os atuadores e sensores presentes na planta é possível organizar malhas SISO (*Single Input Single Output*) de nível e temperatura baseado na descrição da funcionalidade do processo, como é listado na Tabela 1 com as respectivas variáveis de entrada e saída. Cada uma dessas vai apresentar como controlador um simples PID.



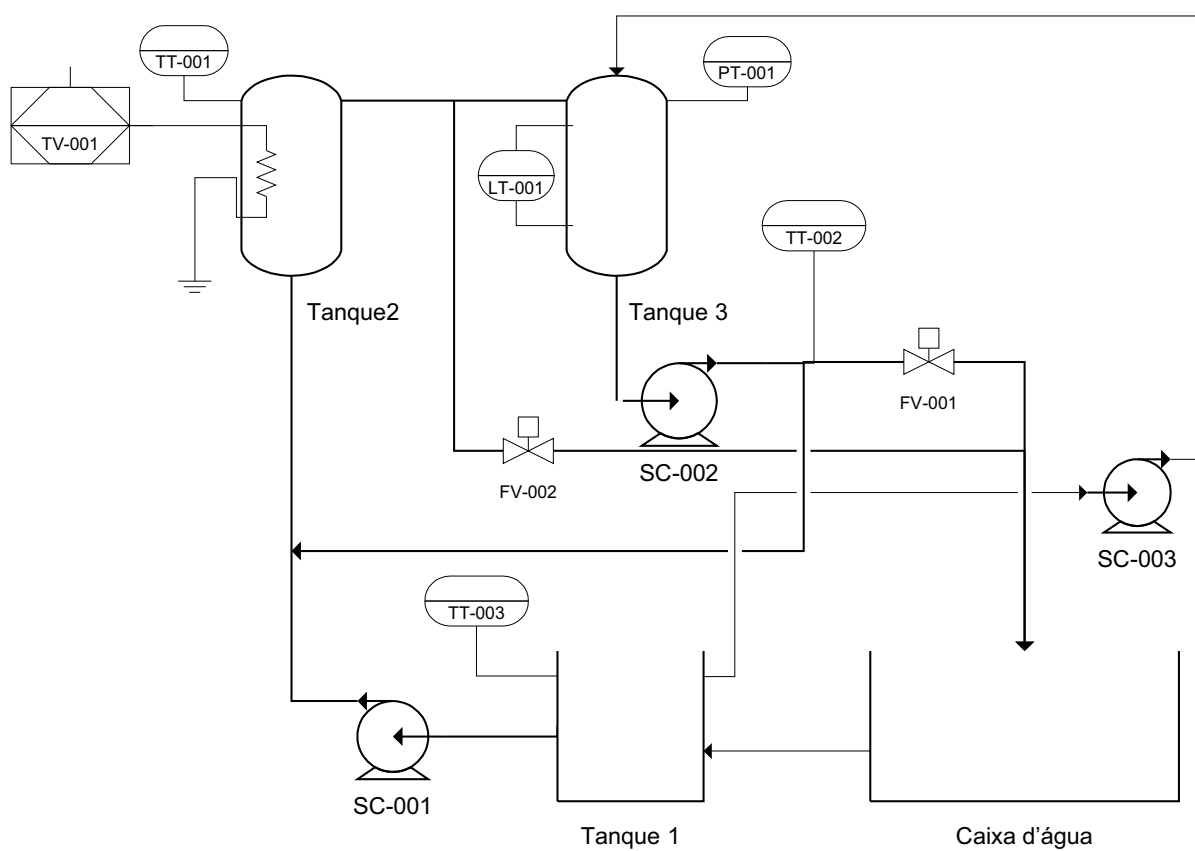


Figura 3 – Esquemático do evaporador de circulação forçada

Tabela 1 – Malhas de Controle

Malha	Entrada	Saída
LIC-101	SC-001	LT-001
LIC-102	SC-002	LT-001
LIC-103	SC-003	LT-001
LIC-104	FV-001	LT-001
LIC-105	FV-002	LT-001
TIC-101	TV-001	TT-001
TIC-102	TV-001	TT-002

## 4 Sistema Digital de Controle Distribuído

Estes, por definição, são sistemas digitais de controle em que os elementos de controle não estão centralizados em um local, mas distribuídos pelo sistema formando subsistemas interconectados por uma rede para comunicação redundante de monitoramento (GROOVER, 2001). Possibilitando uma melhor organização entre as estações ao longo do processo com diversos níveis de hierarquia. O surgimento desses ocorreu na década de 70 com a filosofia de ter uma sala de controle e supervisão global microprocessada em rede com outros controladores de responsabilidade local. Isto tinha como finalidade otimizar a IHM em grandes indústrias para melhorar a ergonomia dos operadores, pois estes receberiam informações apenas do local de sua responsabilidade, aumentando a produtividade e segurança das plantas.

A arquitetura desse sistema é composta por três entidades básicas: a interface com o processo, IHM e rede de comunicação, cada uma com a sua respectiva finalidade. A primeira é adquirir e processar os dados obtidos do processo, além de poder enviar sinais ou comandos aos atuadores e à outras interfaces. A IHM é feita por várias estações de dedicadas espalhadas na planta, exibindo apenas as informações necessárias para aquela área, além de uma sala de controle central para supervisão de todos os processos. Por último, a via de dados faz a comunicação entre as estações que fazem tanto interface com o processo quanto com os operadores, integrando o processo como um todo. As relações entre esses componentes estão ilustradas na Figura 4.

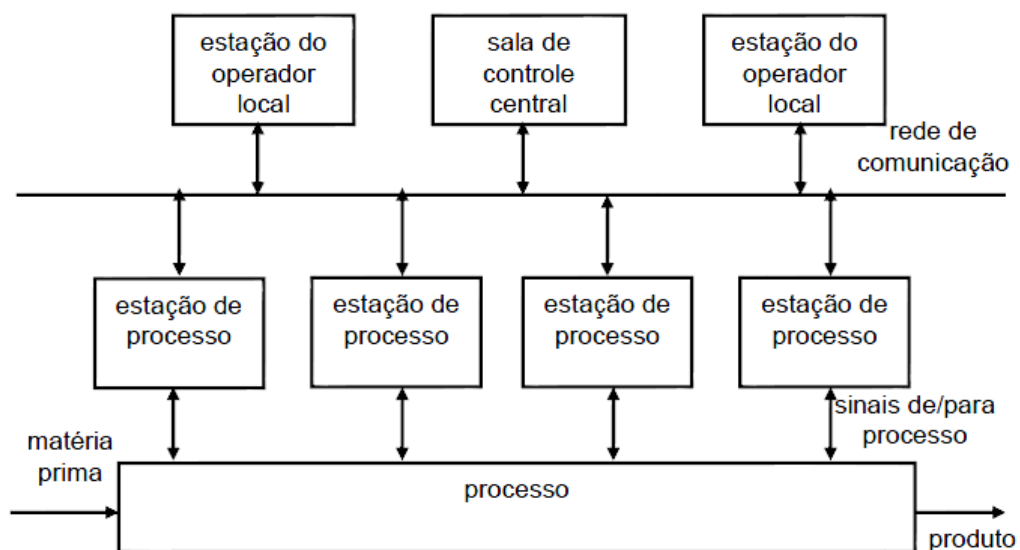


Figura 4 – Esquema de conexão de um SDCD

As principais vantagens desse é a capacidade de ampliação após a instalação origi-

nal, capacidade de usar estratégias de multitarefas paralelamente ao processo e a menor necessidade de cabeamento comparado a um sistema centralizado. Porém em alguns fabricantes podem haver problemas de compatibilidade entre dispositivos devido ao sistema ser proprietário, existe um alto custo de implementação além da exigência de uma mão-de-obra qualificada para operação. Geralmente são utilizados em processos complexos que necessitem um monitoramento mais cauteloso e procurem evitar ao máximo a parada da planta como refinarias, indústrias de automóveis e petroquímicas devido a questões financeiras e de segurança do ambiente.

Com essa arquitetura e características, percebe-se uma grande semelhança entre SDCD e Controladores Lógicos Programáveis (CLP). Isso acaba confundindo os projetistas na hora de escolher qual dessas soluções é mais viável, pois ambos contém dispositivos de campo (sensores e atuadores), módulos de E/S, controladores, IHM, controle supervisório, entre outras coisas. As diferenças ficam mais claras quando se considera os requisitos de aplicação do problema de engenharia ([SIEMENS ENERGY AND AUTOMATION, INC., 2007](#)). Pois SDCDs são mais recomendados para a manufatura de produtos brutos e caros em lotos complexos, com controle regulatório que a parada de produção é custosa para reativar e pode causar condições nocivas aos operadores e equipamentos. Enquanto que os CLPs são utilizados para lotes simples e mais baratos, com controle lógico de alta velocidade, geralmente motores, e o tempo de inatividade não causa tanto transtorno financeiro e para a planta.

Além disso, a IHM é considerada parte essencial do SDCD, ou seja, esta é a única alternativa de visualização de uma parte do processo ou dele como um todo, e no CLP isto tem caráter opcional, pois o produto pode ser monitorado visualmente. Outra diferença entre os dois é o gerenciamento dos alarmes, no CLP estes são baseados por exceções e o operador deve ser treinado para lidar com elas, no SDCD ele tem papel necessário para manter o processo em desempenho desejado e os alarmes podem ser condicionais e sobre manutenção preventiva. Em relação ao desempenho, CLPs apresentam tempo de varredura mais rápido, cerca de 10 *ms* e o SDCD entre 100 a 500 *ms*. Em relação a via de dados, a redundância nos CLPs é considerada um custo não justificado e nos SDCDs esta é fundamental. Para atualizações do processo, os CLPs não suportam modificações em tempo real, forçando o desligamento enquanto que os SDCDs procura evitar a parada do processo como um todo, apenas de uma pequena parte. As estratégias de controle disponíveis para CLPs se resumem a PIDs clássicos e nos SDCDs existem disponibilidades para implantação de conceitos variáveis como controle preditivo, lógica *fuzzy*, rede neural, entre outros. Na questão de programação, o CLP apresenta linguagens de programação de alto nível estão disponíveis para a criação de lógica personalizada, o SDCD usa lógica personalizada criada a partir de blocos de funções existentes, ou seja, poucas mudanças e reuso de algoritmos que não variam entre aplicações. Portanto, o sistemas com CLP são projetos para serem mais flexíveis com soluções de natureza genéricas para ser aplicado

numa grande variedade de aplicações e no SDCD, preocupa-se com a projeto como um todo antes da implantação usando funções pré-definidas e pré-testados para economizar tempo.

Baseando-se em cada particularidade descrita no parágrafo anterior é impossível encontrar um processo industrial que satisfaça somente as especificações do CLP ou SDCD. Geralmente, pondera-se entre o que é mais importante para planta e se escolhe um SDCD, CLP ou uma solução híbrida combinando ambos para extrair ao máximo as qualidades de cada um.

## 4.1 DeltaV

Um SDCD da fabricante *Emerson Process Management*, modelo *DeltaV*, disponível no LIEC foi escolhido para coordenar toda a execução do processo descrito no capítulo 3, permitindo monitorar os sensores instalados na planta por meio de uma rede *Fieldbus Foundation* e atuar nos componentes do sistema de acordo com o padrão 4 a 20 *mA*. O monitoramento da planta é realizado por meio de uma estação dedicada, um micro-computador do tipo PC, configurado com um sistema de *Supervisory Control and Data Aquisition* (SCADA), para supervisionar e atuar no sistema em funcionamento por meio da aquisição de dados e os disponibilizando em telas de operação e em arquivos de dados. A comunicação entre o SDCD e a estação de trabalho (*workstation*) é feita por meio de uma rede *Ethernet* com redundância dupla e o padrão de comunicação OPC (*OLE for Process Control*) para aquisição de dados e supervisão da operação como ilustrado na Figura 5, onde a estação se conecta ao controlado usando dois *switches*. Esta característica garante mais segurança e robustez para o processo, pois em caso de falha da rede principal, a informação não será perdida mas transmitida pela rede secundária.

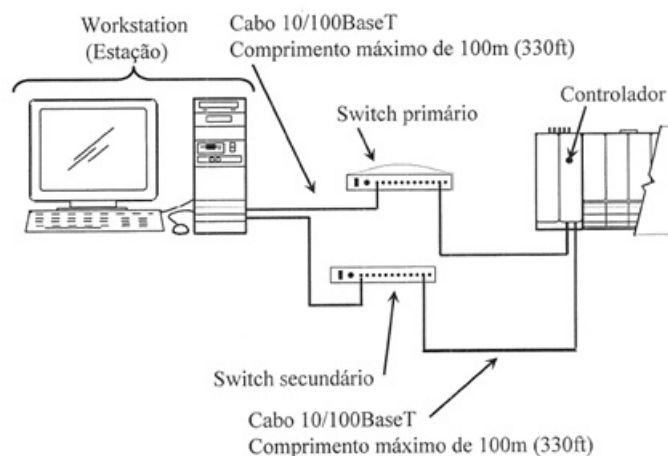


Figura 5 – Esquema de conexão do DeltaV

O modelo utilizado nas atividades foi *M-series MQ Controller*, ilustrado na Figura 6. Com os seguintes cartões:

- M-series DC to DC Power Supply Enhanced (fonte de alimentação)
- DeltaV M-series MQ Controller (controlador)
- M-series FOUNDATION™ Fieldbus I/O (rede industrial pelo padrão *Fieldbus Foundation*)
- DeltaV M-series Traditional I/O
  - AI, 4-20 mA HART 8 canais (entrada analógica)
  - AO, 4-20 mA HART 8 canais (saída analógica)
  - DI, 24 VDC *Dry Contact*, 8 canais (entrada digital)
  - DO, 24 VDC *High Side*, 8 canais (saída digital)



Figura 6 – DeltaV M-series

O próprio fabricante disponibiliza ambientes exclusivos de configuração, programação, criação de telas de operação, supervisão dos cartões e aquisição de dados. Estes estão contidos no *DeltaV User Station Software* e são disponibilizados junto com o SDCD. Os principais aplicativos presentes são:

- ***DeltaV Operate***: Permite a visualização, criação e edição de telas de operação para o sistema supervisor.
- ***DeltaV Configuration Studio***: Consiste em três programas, *Explorer*, *Control Studio* e *Configuration Assistant*. O primeiro é utilizado para visualizar e editar a configuração do sistema; O *Control Studio* é utilizado para a implementação de rotinas, alarmes e referenciamento de entradas e saídas aos cartões; o *Configuration Assistant* é uma ferramenta para auxiliar na montagem e configuração do sistema como um todo.
- ***DeltaV Diagnostics***: Monitora as redes e dispositivos conectados, seus estados e suas configurações.

#### 4.1.1 Arquitetura de Programação

De modo facilitar a organização dos processos, facilitar a manutenção e identificação de defeitos, o DeltaV propõe uma divisão do sistema de uma planta em uma estrutura hierárquica de subsistemas e algoritmos como ilustrado na Figura 7. A Estratégia de Controle é a interpretação de como o processo vai ser avaliado como o problema de controle, assim, define-se quais partes da planta o SDCD vai atuar e monitorar. Área é a divisão lógica do sistema, normalmente representado por locais da planta como tanques, reservatórios ou unidades. Os módulos são interpretados como as malhas e equipamentos pertencentes a uma determinada área, estes são os sensores e atuadores presentes. Além disso, cada módulo apresenta uma série de parâmetros relacionados com a sua finalidade, que auxiliam na interpretação da Estratégia de Controle. Os algoritmos são as operações determinadas pela estratégia de controle para cada módulo.

A implementação das rotinas desejadas para SDCDs é padronizada por linguagens de programação industrial descritas pela norma IEC 61131-3 (KARL-HEINZ; TIEGEL-KAMP, 2001). No caso do DeltaV, isto é realizado por Diagramas de Blocos Funcionais (FBD) e Funções Gráficas de Sequenciamento (SFC). Estes podem realizar operações independentes ou em cooperação entre si, pois existe a opção de referenciar cada algoritmo. Logo, isso possibilita o projetista ter mais liberdade durante implementação da solução, obtendo o melhor desempenho do SDCD.

##### 4.1.1.1 Diagramas de Blocos Funcionais

Esta é considerada uma linguagem de programação gráfica baseada em blocos com os seguintes requisitos: Entradas a esquerda e saídas a direita, estas devem ser exibidas no mesmo e o nome deve estar em cima do objeto criado. A representação de um bloco arbitrário no DeltaV é ilustrado na Figura 8. As conexões desses blocos são possibilitadas por linhas verticais fazendo um fluxo de dados da esquerda para direita. Criando uma

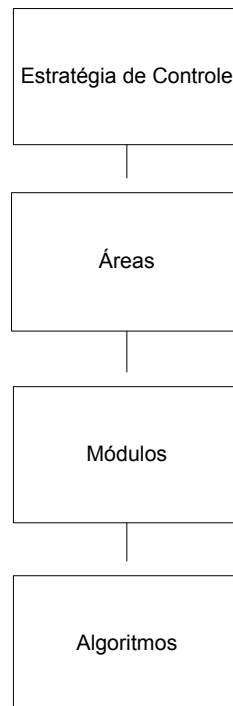


Figura 7 – Diagrama da Arquitetura de Programação do DeltaV

rede gráfica de acordo com a aplicação, podendo unir desde blocos simples até outros algoritmos implementados em FBD ou SFC. Além disso, cada bloco apresenta suas próprias propriedades e parâmetros, estes podem ser editados durante a programação ou enquanto o sistema estiver *online*.

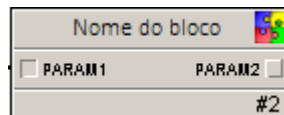


Figura 8 – Bloco funcional genérico

Geralmente, esta estratégia é utilizada para instanciação e conexão entre elementos presentes na planta, como sensores, atuadores, controladores, operadores lógicos entre outros.

#### 4.1.1.2 Funções Gráficas de Sequenciamento

Uma outra linguagem de programação gráfica disponível, baseia-se em uma sequência de passos com transições ou terminações entre esses. Cada passo é associado com uma série de ações que o sistema deve realizar enquanto o seu estado for ativo. A mudança é feita pelas transições que são condições lógicas, onde seu resultado tem valor booleano (LIU, 2015). As terminações se assemelham as transições mas caso tenham valores verdadeiros, levam o sequenciamento ao encerramento. Tanto as ações quanto as condições são implementadas pela linguagem de programação *Visual Basic*.

As ações podem ser do tipo atribuição, booleana ou não-booleana e são selecionadas na janela de propriedades de cada ação. A atribuição vai relacionar um resultado a uma correspondente expressão e pode ser feita de duas formas: não-armazenada e armazenada, a diferença entre essas é que a primeira vale somente enquanto a ação estiver ativa e a segunda atribui para o resto da execução do algoritmo. Estas podem ser combinadas grandezas temporais como atrasos, limitações de tempo. A ação do tipo booleana referencia um nível de módulo de parâmetros booleanos e o último referencia um bloco de função. Um diagrama genérico em SFC é ilustrado na Figura 9.

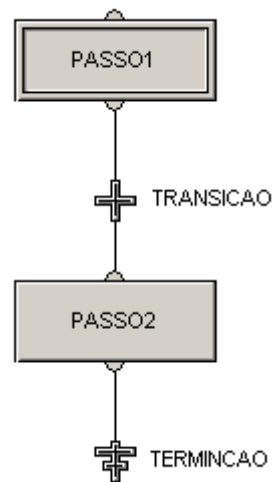


Figura 9 – Exemplo de implementação em SFC

Estes são aplicados para implementar rotinas e procedimentos de operação entre os elementos de controle da planta, instanciados em um código em FBD. Permitindo assim modificar as configurações do processo.



## 5 Atividades Realizadas

Após o estudo das ferramentas utilizadas no estágio, foi necessário conectar essas, planta didática e SDCD de modo a garantir um ambiente de trabalho automatizado e preparado para operação. Então, três atividades principais foram realizadas, inicialmente uma configuração entre os sensores e atuadores foi feita, para fazer a comunicação entre instrumentos e SDCD. Após, rotinas de monitoramento e operação foram desenvolvidas e integradas a uma tela de supervisão.

### 5.1 Configuração da Planta

Inicialmente foi necessário comissionar cada sensor e atuador a um respectivo espaço nos cartões de entrada e saída esta relação é listada na tabela 2. Estas operações foram realizadas no *DeltaV Explorer* com uma série de procedimentos simples e intuitivos.

Tabela 2 – Entradas e saídas comissionadas

Etiqueta	Tipo de E/S	Espaço	Canal
TT-001	Fieldbus	C05	3
LT-001	Fieldbus	C05	3
PT-001	Fieldbus	C05	3
TT-002	Fieldbus	C05	3
TT-003	Fieldbus	C05	3
FV-001	Saída analógica 4-20mA	AO-F-C02	2
FV-002	Saída analógica 4-20mA	AO-F-C02	3
SC-001	Saída analógica 4-20mA	AO-F-C02	4
TV-001	Saída analógica 4-20mA	AO-F-C02	5
SC-002	Saída analógica 4-20mA	AO-F-C02	6
SC-003	Saída analógica 4-20mA	AO-F-C02	7

Assim, foi necessário organizar o sistema de acordo com os padrões estabelecidos pelo SDCD. Logo, montou-se a seguinte estratégia de controle para a planta, considerou-se a área, nomeada *AREA\_A* do sistema a planta como inteiro, devido ao acoplamento existente entre os instrumentos e as variáveis que dificultaria uma modularização maior. Então, um módulo central programado em FBD, chamado de *TESTE*, foi declarado com todas as entradas e saídas, disponibilizando estes para todas as outras rotinas. Para cada malha de controle foi criado um módulo referente, acessando o módulo principal para colher os dados das entradas e saídas, também em FBD. As rotinas de operação da planta foram implementadas em SFC e declaradas num módulo FBD, MODOS, estas eram acionadas por um valor de sentinela. As relações entre esses é ilustrada na Figura

10. Cada módulo e área foram criados no *DeltaV Explorer* e a programação de cada um foi realizada no *DeltaV Control Studio*.

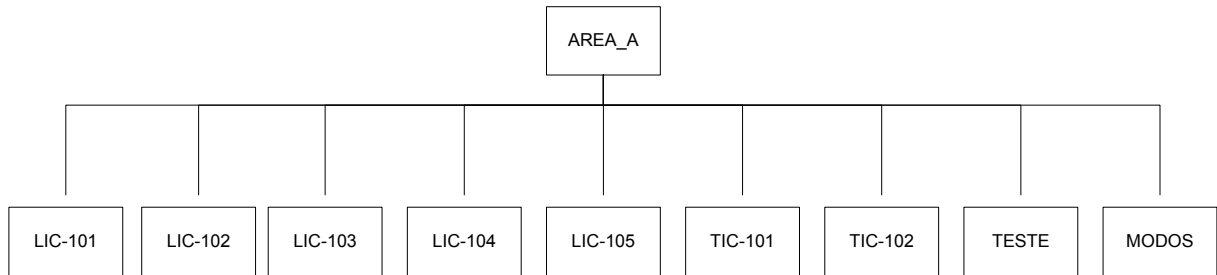


Figura 10 – Diagrama Implementado para a Planta

### 5.1.1 Módulo TESTE

A implementação do módulo TESTE está ilustrada na Figura 11, no lado esquerdo dessa estão os blocos de entradas analógicas disponíveis na planta, cada um configurado para a unidade de apropriada, Tabela 3, e os valores medidos são disponibilizados no parâmetro *OUT*. No lado direito, os blocos de saídas analógicas estão instanciados, na entrada *CAS\_IN*, entrada em cascata, de cada um está ligado uma bloco de entrada externa que vai ser utilizado como referência nos outros módulos. As unidades desses são todas percentuais e o valor enviado para cada um é exibido pelo parâmetro *OUT*.

Tabela 3 – Unidades de Medida dos Sensores

Bloco	Unidade
PT-001	<i>mmH<sub>2</sub>O</i>
LT-003	<i>mmH<sub>2</sub>O</i>
TT-001	°C
TT-002	°C
TT-003	°C

Nos blocos LT-001, TT-001 e TT-002 alguns alarmes foram ajustados baseados em conhecimento prévio para cada situação e são listados na Tabela 4. Onde LOLO é o valor mais baixo e seu alarme é crítico, LO é um valor baixo e gera uma advertência, HI é um valor alto que também resulta uma advertência e HIHI é o valor mais alto e é um alarme crítico.

Tabela 4 – Alarmes no Módulo TESTE

Bloco	LOLO	LO	HI	HIHI
LT-001	50	70	655	730
TT-001	25	30	45	50
TT-002	25	30	45	50

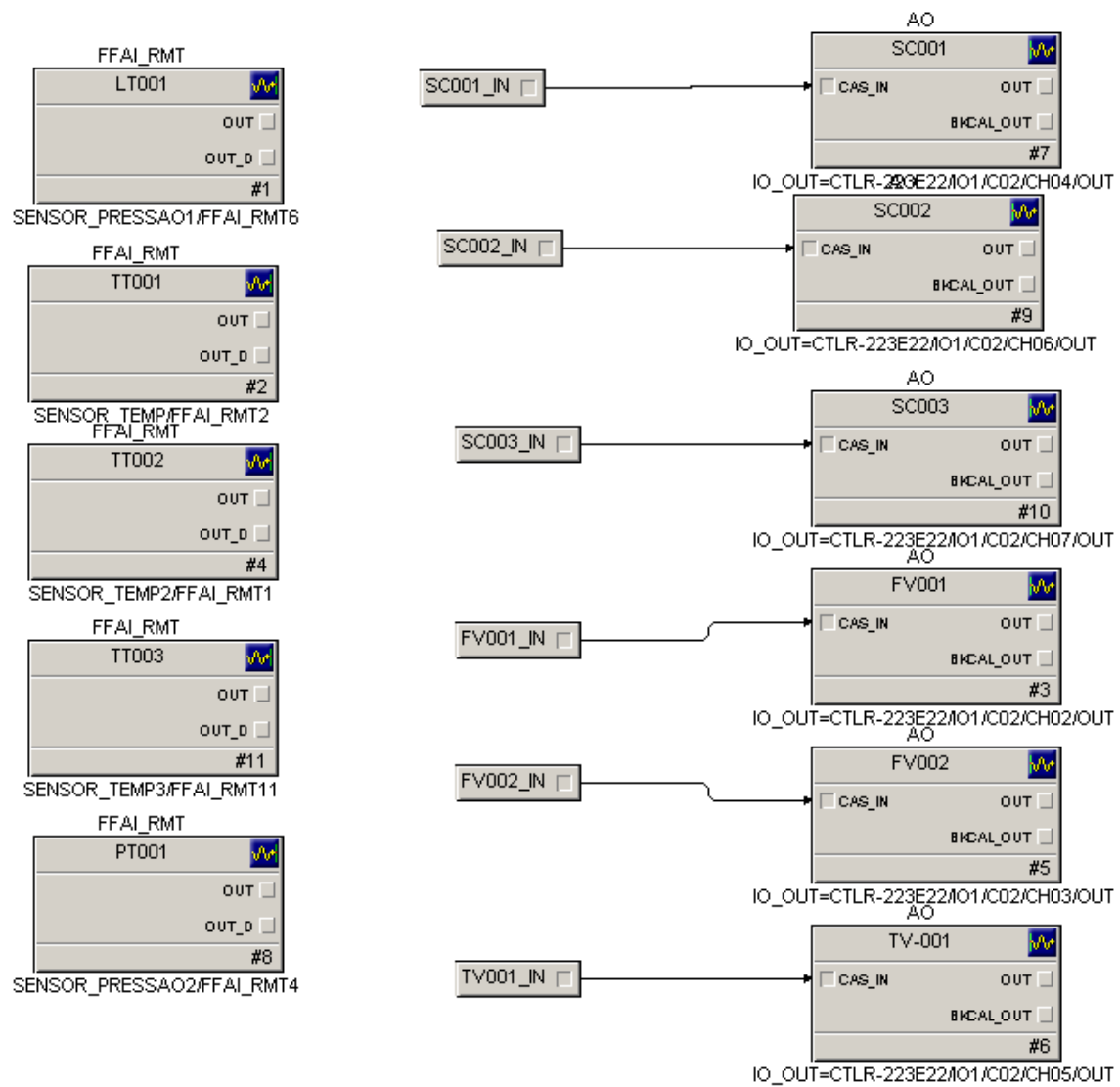


Figura 11 – FDB para o Módulo TESTE

### 5.1.2 Módulos das Malhas de Controle

No capítulo de descrição da planta foi estabelecido que cada malha seria tratada como um processo SISO e teria como controlador um PID simples. Baseado nessas informações, blocos do tipo entrada externa, saída externa e PID foram instanciados no ambiente de trabalho. As entradas foram referenciadas aos respectivos sensores, as saídas para as entradas em cascata de cada atuador declaradas no módulo TESTE.

Além disso, era necessário criar um retorno para implementar a realimentação, logo, a saída *BKCAL\_OUT* de cada atuador foi referenciada para uma entrada denominada de *RETORNO*, esta disponibiliza os dados exclusivamente para realimentações entre os blocos de saídas analógicas e controladores de acordo com a configuração do ambiente. Antes da entrada *RETORNO* ser conectada no *BKCAL\_IN* do bloco PID, parâmetro análogo *BKCAL\_OUT* mas em relação a entrada, é necessário fazer com que

a conexão seja do tipo realimentação, uma solução é usar um bloco de escalonamento que não modifique os valores recebidos e fazer com que a saída desse seja uma realimentação (LIU, 2015), onde a linha se torna tracejada. Todo esse esquema de conexões para uma malha é ilustrado na Figura 12.

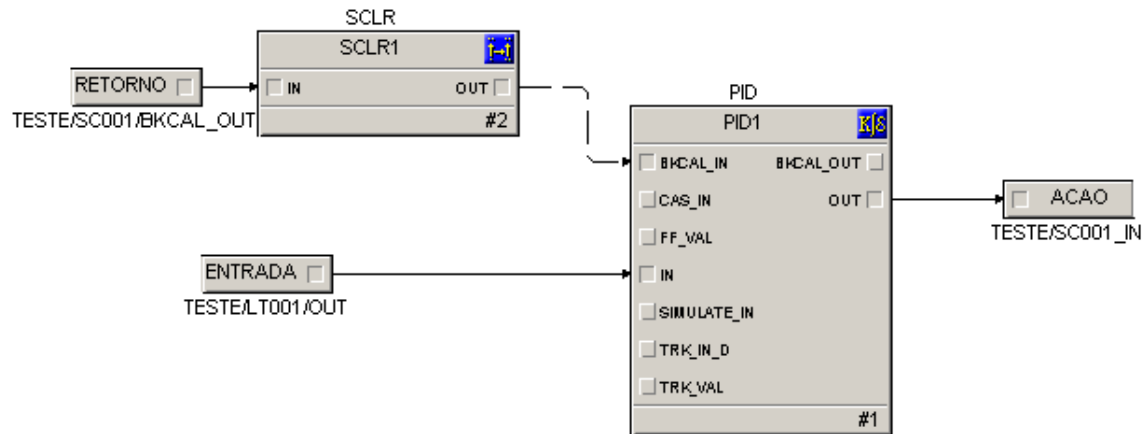


Figura 12 – FDB para uma Malha de Controle

### 5.1.3 Módulo MODOS

Após todas as malhas serem instanciadas foi proposto um módulo em FDB para acionar rotinas de operação da planta. Então, criou-se o MODOS de modo neste haveria uma entrada que serviria como sentinela, *MODO*, para acionar os blocos das rotinas. Cada uma dessas foram implementadas em *Composite blocks*, um bloco genérico onde algoritmos podem ser representados, os quais são do tipo SFC e contém as rotinas de operação propostas para as diversas situações. As conexões dos elementos descritos estão ilustradas na Figura 13.

## 5.2 Programação das Rotinas

Baseando-se em algumas limitações da planta e situações propícias de operação além das necessidades do operador, três rotinas foram propostas para otimizar o processo e garantir a segurança aos equipamentos e ao ambiente. Todas essas foram implementadas em SFC, pois seguiam uma série de procedimentos e ações baseados em condições de estado. Em todas as rotinas, o primeiro passo é sempre verificar o valor da entrada está de acordo com o respectivo módulo e para garantir que haja um modo contínuo de operação, armazenado na variável *FLAG\_IN*. As terminações não foram incluídas e a última transição é sempre verdade forçando o retorno para o estado inicial.

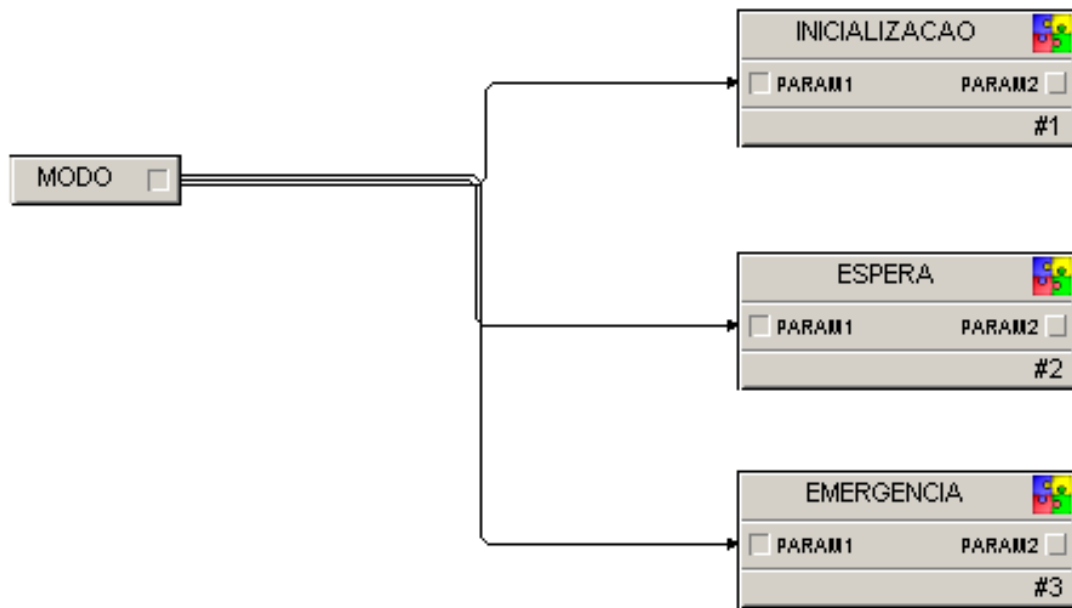


Figura 13 – FDB para o Módulo MODOS

### 5.2.1 Inicialização

Esta rotina tem como finalidade colocar a planta em um ponto de operação padrão previamente estabelecido, (MOREIRA, 2016). Porém, pelo arranjo dos equipamentos é recomendado habilitar as malhas de temperatura apenas quando o Tanque 2 estiver completamente cheio para evitar o desgaste da resistência, acarretando numa queima dessa. Entretanto, este não apresenta um sensor de nível que possibilite o monitoramento dessa grandeza. Baseado nessa limitação, o inicialmente algoritmo coloca todas as malhas de controle no modo manual, possibilitando a livre operação dessas pelo SDCD, por meio de uma ação de atribuição não-armazenada. Após isso, o nível presente no Tanque 3 é armazenado numa variável interna, *NIVEL\_INICIAL*, com uma atribuição não-armazenada válida somente na primeira varredura, e a bomba de alimentação (SC-001) é ativada com frequência de 80%. Esse estado permanece até que o nível no Tanque 3 tenha o valor maior que o inicial mais 20 mmH<sub>2</sub>O. Quando esta condição for verdadeira, o PID presente na malha LIC-101 é sintonizado com ganhos estabelecidos e as outras malhas de nível ainda ficam em manual mas com valores de saídas referentes ao ponto de operação, com atribuição armazenada. A malha de temperatura TIC-102 somente é ativada e sintonizada quando o nível chegar ao valor de referência do controlador por atribuição armazenada. Garantindo assim integridade da planta e faz a rotina voltar ao estado inicial. A implementação em SFC da rotina é ilustrada na Figura 14, o ponto de operação e os ganhos do controladores PID da malhas estão listados na Tabelas 5 e 6.

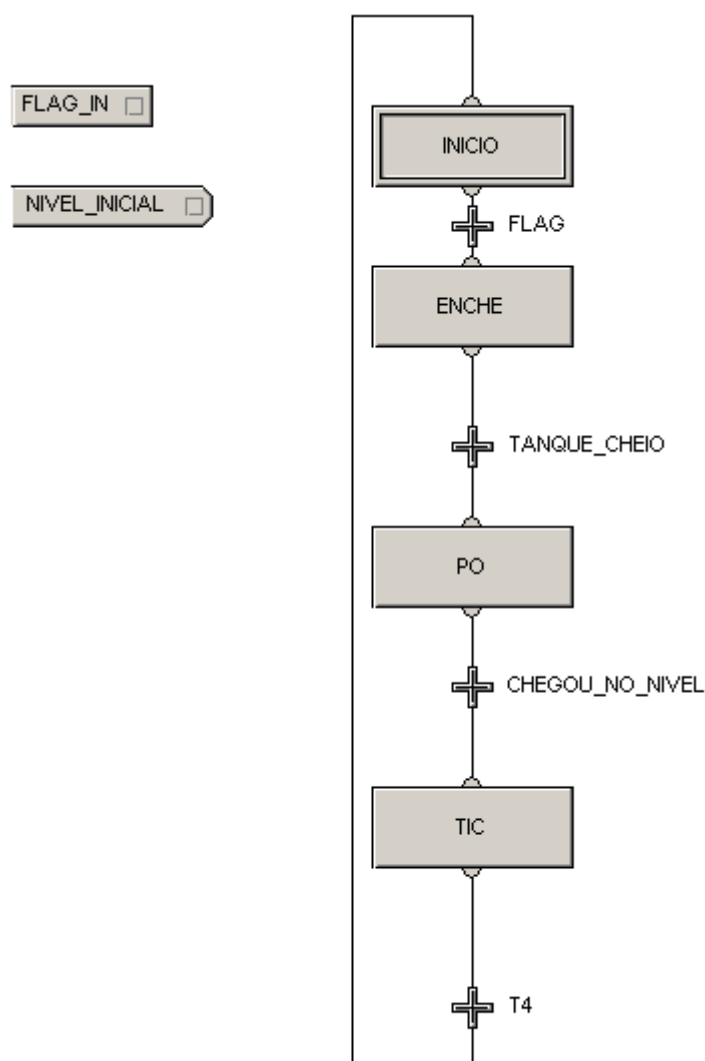


Figura 14 – SFC para a rotina Inicialização

Tabela 5 – Valores dos atuadores para o ponto de operação

Etiqueta	Valor (%)
SC-002	80
SC-003	0
FV-001	10
FV-002	5

### 5.2.2 Espera

Esta rotina somente tem a tarefa de desligar todos os controladores e anular as saídas destes. Assim, todos os controladores presentes nas malhas são colocados em modo manual e tem os valores dos respectivos atuadores anulados por atribuição armazenada. Após isso o código volta ao seu estado inicial, a implementação é ilustrada na Figura 15.

Tabela 6 – Ganhos dos controladores

Malha	Kp	Ti	Td
LIC-101	0,4826	246,332	0
TIC-102	109,6	1200	0

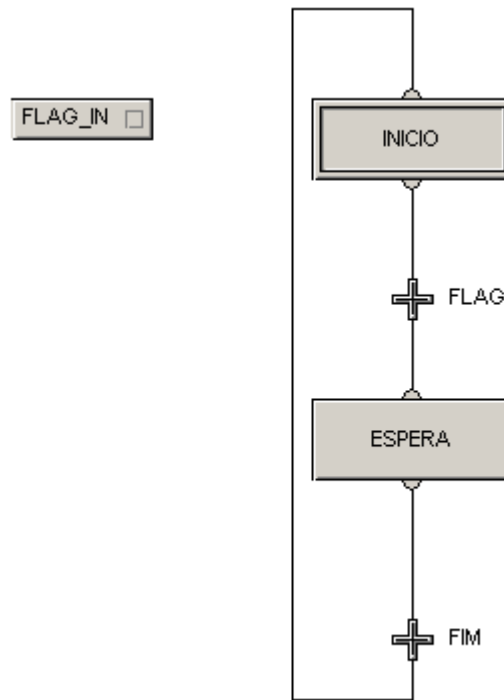


Figura 15 – SFC para a rotina Espera

### 5.2.3 Emergência

Considerou-se que uma situação de emergência, os Tanques 2 e 3 deveriam ser esvaziados o mais rápido possível e todas as malhas desligadas. Assim as válvulas FV-001, FV-002 e a bomba de circulação SC-002 recebem os valores máximos por atribuição armazenada. Como os tanques estão conectados diretamente ambos têm o mesmo nível, então somente baseado na medição do Tanque 3 é possível garantir que os dois vão estar vazios. Assim, a mudança de estado ocorre quando o sensor LT-001 tiver um valor de 40 mmH<sub>2</sub>O. Paralelamente, todas as outras malhas são desligadas na mesma ação. A implementação é ilustrada na Figura 16.

## 5.3 Tela de Supervisão

Visando integrar as malhas de controle e as rotinas de operação, além de proporcionar para o usuário um ambiente intuitivo para o gerenciamento com as grandezas importantes da planta, uma tela de supervisão foi proposta para o processo desenvolvida no *software DeltaV Operate Run* e esta ilustrada na Figura 17 no modo execução.

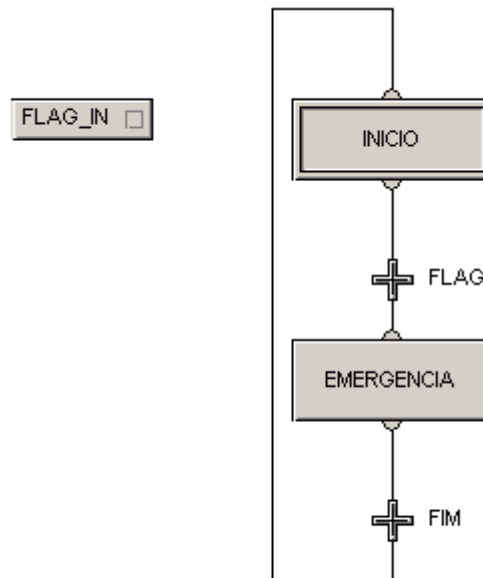


Figura 16 – SFC para a rotina Espera

Este ambiente proporciona um gerenciamento de alarmes, eventos e variáveis da planta previamente já configurado.

Inicialmente um diagrama equivalente a planta foi implementado, com ilustrações de tanques, encanamentos, sensores e bombas presentes nas bibliotecas de figuras do próprio ambiente. Ainda nesse, um retângulo foi colocado sob o Tanque 3 e teve sua animação de preenchimento associada ao valor do nível desse, auxiliando visualmente o operador. Os rótulos foram escritos por caixas de texto, disponíveis e as variáveis por *datalinks*, que são caixas dinâmicas especialmente criadas para associar a rótulos de diferentes módulos. Dois gráficos em tempo real também estão presentes na tela, um para o acompanhamento do nível no Tanque 3 e o segundo para as temperaturas dos sensores TT-001 e TT-002. Botões do tipo *push button* foram instanciados com o nome da rotina que executa, assim como o evento para ação de clique. Para cada controlador PID presente no sistema, foi reservado uma área com as suas opções de modo, sintonia e referência, na parte direita da tela.



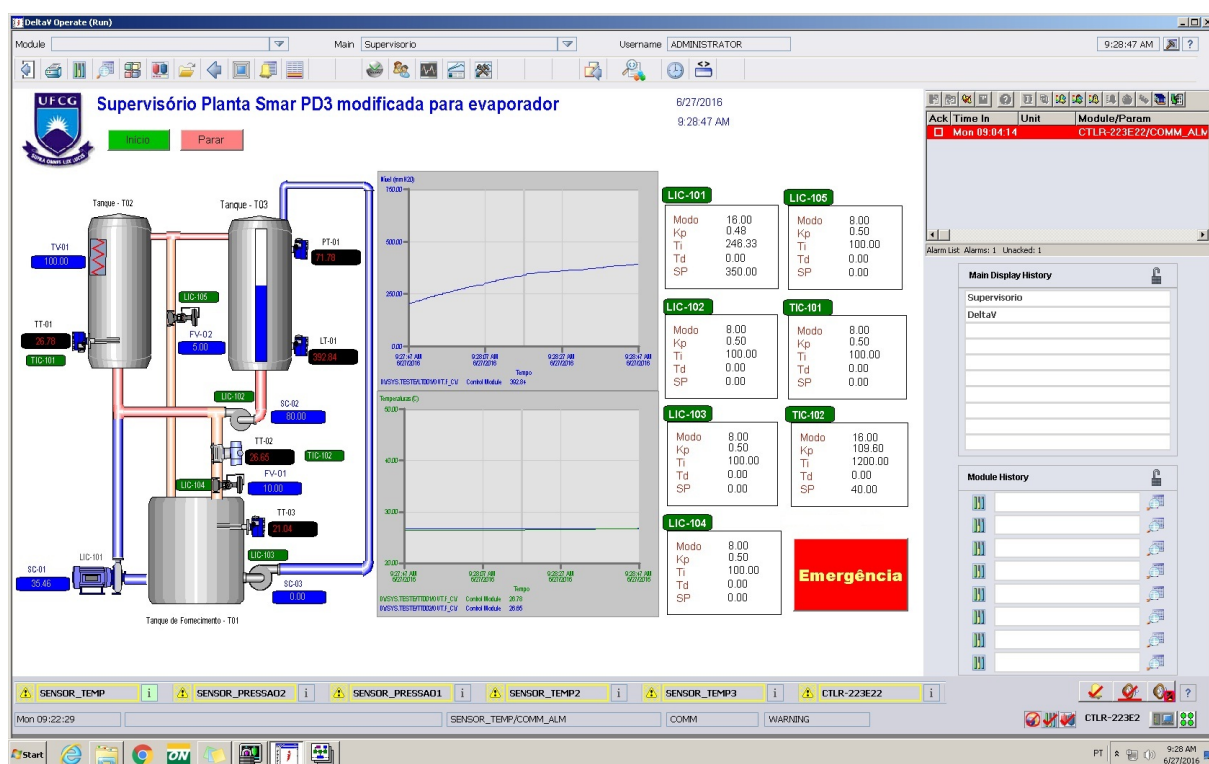


Figura 17 – Sistema Supervisório

## 6 Considerações Finais

Os desenvolvimentos das atividades propostas, cuja a principal foi automação da Planta Didática SMAR® PD3-F proporcionou grande crescimento profissional e aproximação com tecnologias avançadas presente no setor industrial, neste caso o SDCD *Emerson DeltaV*. Logo, além de toda a base acadêmica necessária para a execução, adquirida ao longo do curso de Engenharia Elétrica, houve um grande conhecimento prático.

Com base nos resultados obtidos é possível notar que houve êxito nas atividades propostas, pois foi possível deixar a planta em um estado operacional e seguro para operadores realizarem experimentos de diversas naturezas e auxiliar nos estudos de vários outros alunos que forem utilizar em breve. Para isso, os conceitos adquiridos em disciplinas como Sistemas de Automação Industrial, Instrumentação Eletrônica e Sistema a Eventos Discretos foram essenciais, além do aprendizado adquirido pelos manuais de fabricantes para configuração dos elementos de campo, comissionar estes ao SDCD, programação por FDB e SFC e desenvolvimento do sistema supervisor.

Portanto, o estágio possibilitou uma rica oportunidade de elaborar por completo uma solução de engenharia presente em vários tipos de indústrias, solidificar conceitos teóricos e unir estes a prática, tudo em escala laboratorial. Sendo o LIEC base fundamental para o sucesso dando condições de trabalho, apoio, designando atividades e contribuindo para o crescimento do estagiário. Os resultados obtidos ao fim das atividades atenderam as expectativas, estando ainda em aberto à possibilidade para trabalhos futuros mais detalhados e em outras áreas do conhecimento.

Para trabalhos futuros utilizando a planta didática e o SDCD, sugere-se:

- Implementação de novas rotinas, como de desligamento
- Integração de rotinas e alarmes para segurança
- Instalação novos sensores, como o de vazão
- Criação de telas de supervisão auxiliares
- Entre outros

# Referências

- COMPANY, A. *Evaporator Handbook*. 4th. ed. [S.l.]: EHB-955, 2000. Citado na página 4.
- EMERSON. *Getting Started With Your DeltaV™ Digital Automation System*. [S.l.], 2010. Citado na página 1.
- FEISEL, L. D.; ROSA, A. J. The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education*, p. 121–130, 2005. Citado na página 4.
- GLOVER, W. B. Selectiing evaporators for process applications. *AIChE*, p. 26–33, 2004. Citado na página 4.
- GROOVER, M. P. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. 2. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2001. Citado na página 7.
- KARL-HEINZ; TIEGELKAMP, M. *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems*. 1. ed. [S.l.]: Springer, 2001. Citado na página 11.
- LIEC website. 2016. <<http://liec.ufcg.edu.br/Default.cshtml>>. Acessado em: 12/07/2016. Citado na página 2.
- LIU, X. *Configuration, Programming, Implementation, and Evaluation of Distributed Control System for a Process Simulator*. Dissertação (Mestrado) — Western University, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 17.
- MOREIRA, L. J. da S. *Técnicas de Identificação de Sistemas Aplicadas a uma Planta Didática*. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Campina Grande. Citado na página 18.
- SIEMENS ENERGY AND AUTOMATION, INC. *DCS or PLC? Seven Questions to Help You Select the Best Solution*. [S.l.], 2007. Citado na página 8.
- SMAR. *PLANTAS DIDÁTICAS: PD3-F – Manual de Instruções, Operação e Manutenção*. [S.l.], 2012. Citado na página 1.