

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

**RENATA LINS REIS**

**USO DE SIMULADOR PARA VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE  
SEGURANÇA DE UMA PLANTA INDUSTRIAL**

Salvador

2015

**RENATA LINS REIS**

**USO DE SIMULADOR PARA VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE  
SEGURANÇA DE UMA PLANTA INDUSTRIAL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, da Universidade Federal da Bahia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ricardo de Araújo Kalid

ORIENTADOR: M. Sc. Edwin Fernando M. Salas

Salvador

2015

R312 Reis, Renata Lins.

Uso de simulador para validação de sistema de segurança de uma planta industrial. / Renata Lins Reis. – Salvador, 2015.

81f.: Il.

Orientador: Ricardo de Araújo Kalid.

Coorientador: Edwin Fernando M. Salas.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial. 2015.

1. Treinamento Operacional - Simulador 2. Segurança Industrial 3. Controlador Lógico Programável – CLP I. Universidade Federal da Bahia II. Kalid, Ricardo de Araújo III. Salas, Edwin Fernando M. VI. Título.

CDD 620.8

**“USO DE SIMULADOR PARA VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE SEGURANÇA DE  
UMA PLANTA INDUSTRIAL”.**

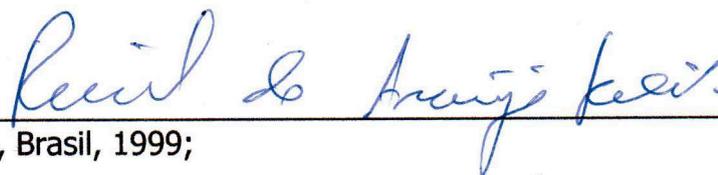
**RENATA LINS REIS**

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Ricardo de Araújo Kalid

Doutor em Engenharia Química, Brasil, 1999;



Prof. Luiz Antônio Magalhães Pontes

Doutor em Engenharia Química, Brasil, 1997;



Prof. Marcus Vinícius Americano da Costa Filho

Doutor em Engenharia de Automação e Sistemas, Brasil, 2013.



Salvador, BA - BRASIL  
junho/2015

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio e dedicação em todos os momentos da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, que está à frente de tudo na minha vida, por me conceder mais esta vitória. Em segundo lugar agradeço a Kalid e Edwin, meus orientadores, por todo o apoio e aprendizado.

Gostaria de agradecer também a meu namorado João Gabriel e minha irmã Roberta, pelo companheirismo e pelo colo sempre disponível quando as coisas se complicam. Por fim, gostaria de agradecer aos meus amigos e família, pela torcida diária e por se emocionarem junto comigo a cada nova conquista.

## RESUMO

É de suma importância que os operadores e engenheiros responsáveis por uma planta industrial tenham domínio do processo e se sintam seguros com relação a possíveis eventos anormais e falhas de equipamentos, pois decisões erradas podem se transformar em desastres. O uso de simuladores é uma excelente maneira de satisfazer esse objetivo, pois é capaz de fornecer resultados próximos à realidade sem envolver riscos de segurança e econômicos. Com base nisto, o objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de um simulador dos sistemas de automação e segurança e que emule a operação de maneira similar a uma planta real. Esta ferramenta auxilia no treinamento e capacitação de operadores no que diz respeito à parte de segurança e irá possibilitar a análise de intertravamentos e o manuseio de controladores lógicos programáveis, equipamentos robustos e complexos normalmente utilizados no sistema de segurança de uma indústria.

**Palavras-chaves: Simulador para Treinamento Operacional. Segurança Industrial. Controlador Lógico Programável. CLP.**

## **ABSTRACT**

It is extremely important that the operators and engineers responsible for an industrial plant have complete knowledge of the process and feel confident to deal with possible abnormal events and equipment failures since wrong decisions can lead to a disaster. The use of simulators is an excellent way to meet this goal because it is able to provide an accurate match to reality without involving security and economic risks. Based on this, the aim of this work is the development of a simulator with automation and security systems emulated and operating similarly to a real plant. This tool can be helpful for operators training and qualification regards to safety and will enable the analysis of interlocks, in addition to the study of programmable logic controllers, robust and complex equipment normally used in an industry security system.

**Keywords: Operator Training Simulator. Industrial Security. Programmable Logic Controller. PLC.**

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	Objetivo Geral.....	19
1.2.2	Objetivos Específicos.....	19
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>21</b>
2.1	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS.....	21
2.2	SEGURANÇA INDUSTRIAL E NORMAS REGULAMENTADORAS.....	24
2.3	SIMULADOR PARA TREINAMENTO OPERACIONAL.....	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>34</b>
3.1	DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO DINÂMICA DO PROCESSO.....	35
3.2	ARQUITETURA DO SISTEMA.....	37
3.3	CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DE INTERTRAVAMENTO.....	38
3.3.1	Elementos Básicos do Software.....	38
3.3.2	Configuração das Lógicas.....	41
3.4	ESTUDO DE CASO.....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
4.1	ATUAÇÃO NA PERMISSÃO DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS.....	47
4.2	ATUAÇÃO EM DESLIGAMENTO DA PLANTA (SHUTDOWN).....	49
4.3	ATUAÇÃO DIANTE DE FALHA DE INSTRUMENTOS.....	51
4.4	PROCEDIMENTO DE PARTIDA DA PLANTA.....	53
4.5	PROCEDIMENTO DE PARADA DA PLANTA.....	59
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>64</b>
5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	65
	REFERÊNCIAS.....	65
	APÊNDICE A: PUBLICAÇÕES.....	70
	APÊNDICE B: LÓGICAS EM DIAGRAMA LADDER.....	71
	APÊNDICE C: ESPECIFICAÇÃO FUNCIONAL DO SISTEMA.....	78

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Histórico dos maiores acidentes industriais. ....	28
Figura 2 Cone da Aprendizagem.....	29
Figura 3 Diagrama do Processo de Tratamento de Gás Natural.....	36
Figura 4 Arquitetura do Simulador.....	37
Figura 5 Normalmente aberto.....	39
Figura 6 Normalmente fechado. ....	39
Figura 7 Saída Padrão. ....	39
Figura 8 Saída Unlatch.....	40
Figura 9 Saída Latch. ....	40
Figura 10 Configuração de Permissivo .....	41
Figura 11 Limites mínimos e máximos de uma variável.....	43
Figura 12 Lógica de falha de canais dos transmissores.....	44
Figura 13 Localização da válvula SDV-008.....	47
Figura 14 Condições para permitir a abertura da SDV-008. ....	48
Figura 15 Permissivo liberado para abertura da SDV-008.....	48
Figura 16 Indicação de Pressão Alta e de Desligamento de Emergência.....	50
Figura 17 Planta Operando em Condição Estacionária. ....	50
Figura 18 Planta em Condição de Desligamento de Emergência. ....	51
Figura 19 Falha em um dos canais. ....	52
Figura 20 Falha do instrumento.....	53
Figura B. 1 - Lógica do shutdown de emergência da planta. ....	70
Figura B. 2 - Lógica das bombas e compressores. ....	70
Figura B. 3 - Lógica das SDVs. ....	71
Figura B. 4 - Lógica de alarmes de HH e LL. ....	72
Figura B. 5 - Lógica de by-pass dos transmissores.....	73
Figura B. 6 - Lógica de análise de falha dos canais dos transmissores. ....	74
Figura C. 1 – Botões de Navegação. ....	78
Figura C. 2 – Barra de Ferramentas .....	78
Figura C. 3 – Barra de Título.....	78
Figura C. 4 – Barra de Alarmes.....	78
Figura C. 5 – Funções do Faceplate. ....	79
Figura C. 6 – Faceplate das SDV's. ....	80
Figura C. 7 – Faceplate dos Equipamentos Rotativos. ....	81
Figura C. 8 – Janela de <i>trend</i> .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Procedimento de Partida (Parte 1) .....	54
Tabela 2 - Procedimento de Partida (Parte 2) .....	54
Tabela 3 - Procedimento de Partida (Parte 3) .....	56
Tabela 4 - Procedimento de Partida (Parte 4) .....	57
Tabela 5 - Procedimento de Partida (Parte 5) .....	57
Tabela 6 - Procedimento de Partida (Parte 6) .....	57
Tabela 7 - Procedimento de Partida (Parte 7) .....	57
Tabela 8 - Procedimento de Partida (Parte 8) .....	58
Tabela 9 - Procedimento de Parada (Parte 1) .....	59
Tabela 10 - Procedimento de Parada (Parte 2) .....	59
Tabela 11 - Procedimento de Parada (Parte 3) .....	60
Tabela 12 - Procedimento de Parada (Parte 4) .....	61
Tabela 13 - Procedimento de Parada (Parte 5) .....	61
Tabela 14 - Procedimento de Parada (Parte 6) .....	62
Tabela 15 - Procedimento de Parada (Parte 7) .....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS

OCDE: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

CLP: Controlador Lógico Programável

CCPS: Center for Chemical Process Safety

AIChE: American Institute of Chemical Engineers

ISA: Instrumentation Systems and Automation Society

FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos

UFBA: Universidade Federal da Bahia

IBTR: Instituto Brasileiro de Tecnologia e Regulação

NEMA: National Electrical Manufacturers Association

SIS: Sistema Instrumentado de Segurança

SIL: Nível de Integridade de Segurança

IEC: Comissão Eletrotécnica Internacional

ANSI: American National Standards Institute

RBD: Diagrama de Blocos de Confiabilidade

SESMT: Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho

CIPA: Comissão Interna de Prevenção de Acidentes

EPI: Equipamento de Proteção Individual

APP: Análise Preliminar de Perigo

HAZOP: Hazard and Operability Analysis

CEPRAM: Conselho Estadual do Meio Ambiente

OTS: Simulador para Treinamento Operacional

TEG: Trietilenoglicol

IHM: Interface Homem-Máquina

OPC: OLE for Process Control

COM: Component Object Model

SDV: Shutdown Valve

CPU: Unidade Central de Processamento

PFD: Probabilidade de Falha de Demanda

SDCD: Sistema Digital de Controle Distribuído

HART: Highway Addressable Remote Transducer

HIL: Hardware in the Loop

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A evolução da tecnologia, desde à Revolução Industrial, trouxe consigo diversos produtos inovadores que proporcionaram avanços significativos na medicina, telefonia, transporte, educação, indústria e muitos outros setores. O desenvolvimento de computadores e as melhorias de hardware e software consequentes do progresso da eletrônica e da informática, permitiram que a simulação se tornasse uma poderosa ferramenta, que atualmente é muito utilizada em diversos âmbitos.

Desser (2007) discorre que métodos de ensino baseados em simulação vêm sendo utilizados nos setores da aviação, medicina, militar e nuclear, nos quais treinar com situações reais poderia acarretar em desastres, como acontecia antes dos métodos de simulação ganharem aceitação. O autor exemplifica que um simulador de vôo desenvolvido em 1929 só começou a ser utilizado após o falecimento de muitos pilotos durante a II Guerra Mundial. Atualmente, a força aérea utiliza a simulação como instrumento de formação.

Komulainen et al. (2012) analisam e discutem sobre o uso de simuladores de processo no aprendizado para três cursos de engenharia química na Oslo University College, Technical University of Denmark e Aston University. Eles afirmam que simulações realísticas, utilizando softwares comerciais de simulação dinâmica, preparam melhor os estudantes para a prática. Como resultado do estudo na Oslo University College, 95% dos alunos concordou que a simulação aprimorou o entendimento sobre a teoria, 60% utilizou os resultados da simulação no desenvolvimento do processo e 80% concordou que foi uma experiência muito útil.

Para as três universidades, na opinião de professores e alunos, o uso de simulações aumentou a comunicação e cooperação entre os estudantes, o que se trata de um aspecto pedagógico importante na melhoria do aprendizado. Além disso, o software de simulação permitiu demonstrações e testes de diferentes tipos de processo e equipamentos, algoritmos de controle e procedimentos de segurança. Executar testes com o modelo ajudou a identificar os parâmetros ótimos de processo e a compreender o funcionamento e a operação de processos químicos complexos.

Na atual conjuntura econômica, para uma empresa se manter competitiva no mercado, é necessário garantir uma elevada produtividade. De acordo com Lobão e Porto (1999), isto implica na modernização das plantas industriais, reposição de equipamentos obsoletos e uso intensivo de sistemas automatizados. Estes sistemas possibilitam altos ganhos de produtividade (devido ao menor desperdício de tempo para inicialização dos equipamentos e maior eficiência no processo), qualidade (pela uniformização do produto) e rentabilidade (com menores índices de desperdício e maiores de produção). Devido à complexidade dos processos e a quantidade de ações corretivas a serem tomadas em caso de pane, o monitoramento e operação por parte de operadores humanos é arriscado. Esta situação trouxe consigo a demanda por sistemas de simulação, os quais permitem que o treinamento para estas tarefas possa ser realizado em tempo mais curto, sem riscos para equipamentos e operadores e sem necessidade de parada da produção.

As vantagens da utilização de simuladores para treinamento operacional (OTS) são muitas. Machado et al. (2011) comentam que simulações possibilitam o experimento de vários comportamentos de sistemas de automação cujos resultados são de alto valor para o teste de cenários, permitindo a rápida detecção de erros na especificação do controlador. O autor também discorre sobre diferentes aplicações de simuladores, porém, destaca que todos possuem um objetivo em comum: evitar maiores danos ao sistema real. O fato de apresentar valores e comportamento muito fiéis à realidade permite a análise de fenômenos, a identificação de “gargalos” na planta e a realização de testes para a otimização do processo. De acordo com Barros (2009), é possível, através de simulação, conduzir experimentos com o propósito de entender o comportamento da planta ou avaliar estratégias para sua operação. Vale ressaltar que, para isto, o investimento é relativamente baixo e de maneira geral são obtidos resultados em um curto espaço de tempo e sem riscos de segurança. Balaton, Nagy e Szeifert (2013) citam ainda que, com a ajuda destes sistemas, vários problemas de funcionamento e de segurança podem ser analisados e a equipe operacional da planta pode ser treinada para lidar com diferentes tipos de falhas, testar novos métodos de controle e realizar testes de segurança.

Garantir a segurança em plantas industriais é algo de vital importância, pois as consequências de um acidente industrial podem ser de alta magnitude, envolvendo grandes perdas, tanto humanas quanto materiais, e causando graves danos ao meio ambiente. Segundo Manca, Brambilla e Colombo (2013) apud OECD (2003): "... de acordo com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) erros humanos e comportamentos inseguros são responsáveis por 30% a 40% dos acidentes industriais, incluindo aqueles provocados por trabalhadores inexperientes ou não treinados. " De acordo com Ogle et al. (2008), a operação manual dá margem a diversos erros operacionais. Assim, um dos objetivos da automação do processo é aumentar a segurança da operação das unidades industriais, reduzindo o risco de acidentes. Os mesmos autores também discorrem que a prevenção de acidentes requer uma análise balanceada entre os perigos e o gerenciamento dos mesmos, levando em consideração as interações entre operadores, equipamentos de processos, sistemas de controle e meio ambiente.

O controle de segurança de plantas industriais, incluindo os intertravamentos e alarmes, é normalmente realizado através dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), equipamentos eletrônicos programáveis bastante robustos, destinados a substituir sistemas controlados por dispositivos eletromecânicos. A programação de um CLP é a elaboração de um conjunto de instruções com o objetivo de executar uma ou mais tarefas, assim, erros de programação podem acarretar em consequências indesejadas e problemas no processo. Machado et al. (2011) afirmam que "o *design* de controladores de segurança industrial é um dos mais importantes domínios relacionados com pesquisas de sistemas de automação".

A complexidade envolvida no desenvolvimento de um sistema de intertravamento de uma planta industrial é muito grande. Por isso, existem diversas normas e padrões a respeito do tema, criadas por diferentes organizações, algumas citadas em Ogle et al. (2008), quais sejam: *Center for Chemical Process Safety* (CCPS), *American Institute of Chemical Engineers* (AIChE) e *Instrumentation Systems and Automation Society* (ISA).

Greenberg e Cramer (1991) citam algumas técnicas de análise de risco como *WHAT-IF*, *HAZOP*, árvore de falhas, análise de modo e efeito de falhas e destaca que cada uma possui vantagens e desvantagens e, que nenhum destes métodos é aplicado universalmente ou está singularmente correto. Complementa afirmando que a escolha do método está relacionada a diversos fatores, que não são simples.

Os mesmos autores afirmam que além de uma análise de risco adequada e bem definida é necessário um conjunto regulamentado de normas e procedimentos de operação, manutenção, treinamento, auditoria e investigação. Para reduzir riscos associados a indústria de processos químicos, é necessário um treinamento de toda a equipe de operação pelo menos uma vez ao ano, pois após esse período, as habilidades do operador começam a se deteriorar, principalmente para atividades que não são muito frequentes. Além disso, é necessário adaptar o treinamento de acordo com as alterações ocorridas no processo e na sua operação neste período. Weick (2010) apud Chouhan (2004) cita como um dos aspectos que contribuiu para o desastre químico da Union Carbide, em 1984: “Os operadores foram treinados para implementar um modelo que foi posteriormente modificado sem treinamento adicional”.

Devido as diversas vantagens citadas e a sua ampla utilização em diferentes áreas, muitos simuladores para treinamento de operadores, com objetivos distintos, vêm sendo desenvolvidos. Balaton, Nagy e Szeifert (2013) construíram um OTS para o ajudar no desenvolvimento do controle de uma unidade de processamento de bateladas. Para isto foi utilizado o software de simulação dinâmica UniSim Design, da Honeywell. Cabral, Carvalho e Carvalho (2010) desenvolveram simuladores com foco nos ramos de petróleo & gás e sucroalcooleiro, a partir da integração do Matlab, software de simulação matemática dinâmica e Intouch, software industrial do tipo supervisorio, que monitora e supervisiona as variáveis e dispositivos de controle. Glória et al. (2014) desenvolveram um OTS para processamento de gás industrial utilizando os mesmos softwares. Dipesh e Ahmad (2013) criaram um OTS para uma planta de produção de éster metílico de ácido graxo utilizando o Aspen OTS Framework. Em nenhum destes trabalhos foram utilizados emuladores de CLP. Na maioria, ocorreu apenas a integração dos softwares de simulação com o supervisorio.

O presente trabalho visa o desenvolvimento de uma ferramenta para treinamento operacional de uma planta de processamento de gás natural. Além de conter o software de simulação e o sistema supervisorio da planta, esta ferramenta possui como diferencial o fato de contar com o emulador de CLP, com os intertravamentos e alarmes programados. Isto facilita o aprendizado no âmbito de segurança industrial, pois permite o treinamento de programação deste complexo equipamento, além de permitir a validação de sistemas de segurança em geral.

Esta dissertação de mestrado é parte do trabalho realizado para o Projeto “Simulador para Estudo do Desempenho de Estratégias de Automação e Controle de Plataformas Offshore de Produção de Petróleo e Gás do Pré-Sal” financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) em parceria com a Universidade Federal da Bahia (UFBA), Automind Automação Industrial LTDA. e Instituto Brasileiro de Tecnologia e Regulação (IBTR).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver uma ferramenta para simulação e validação de sistemas de segurança industrial.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Dominar os conceitos relacionados à segurança de plantas industriais;
- Realizar a configuração dos intertravamentos na lógica dos controladores lógicos programáveis e configurar a interface homem máquina do sistema de segurança;
- Fazer a integração dos sistemas de segurança com os sistemas de controle e processo;
- Validar o simulador com casos de estudo.

## **1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação está estruturada em cinco capítulos e três apêndices. O Capítulo 1 discorre sobre motivação e objetivos para a realização deste trabalho. Este capítulo apresenta um histórico do uso dos simuladores, destaca algumas vantagens e introduz conceitos a serem detalhados na Revisão da Literatura.

O Capítulo 2 é destinado a fundamentação teórica de Controladores Lógicos Programáveis: funcionamento, programação e características; Segurança Industrial e Normas Regulamentadoras, incluindo técnicas para determinação do nível de segurança exigido pelo processo e conceitos importantes neste contexto, como SIL, SIS, PFD e Simuladores para Treinamento Operacional, onde diversas maneiras de treinamento utilizando simulação e emulação são apresentadas e avaliadas.

No Capítulo 3 é mostrada a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, com as etapas: simulação dinâmica do processo, arquitetura do sistema, construção das lógicas de alarmes e intertravamentos e estudos de caso para validação da ferramenta.

O Capítulo 4 trata dos principais resultados e a discussão dos mesmos para a atuação da ferramenta desenvolvida nos cenários de permissivo de funcionamento, desligamento de emergência e falha de instrumento e nos procedimentos de parada e partida da planta.

O Capítulo 5 traz a conclusão obtida com o desenvolvimento deste trabalho assim como sugestões para que, futuramente, outros trabalhos relacionados a este possam ser elaborados.

O Apêndice A apresenta as três publicações desenvolvidas no decorrer do mestrado. No Apêndice B são mostradas as lógicas, desenvolvidas em linguagem diagrama ladder, no emulador do controlador lógico programável. Dentre elas estão: lógica de compressores, bombas, SDVs e alarmes.

O Apêndice C traz a especificação funcional das interfaces humano máquina desenvolvidas no DeltaV. São apresentadas as barras de alarmes, *faceplates*, botões de navegação e *trends* padronizados.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O desenvolvimento de uma ferramenta para simulação e validação de sistemas de segurança industrial exige o conhecimento das normas e padrões que propõem metodologias para a avaliação de sistemas instrumentados de segurança (SIS) e definem ações e procedimentos para projeto, construção e manutenção dos mesmos. Os SIS são compostos por sensor, elemento executor de lógica e elemento final. Os elementos que executam a lógica são denominados Controladores Lógicos Programáveis e são normalmente os equipamentos responsáveis pela segurança de uma indústria.

Este tipo de ferramenta, capaz de simular um ambiente muito próximo da realidade é amplamente utilizada para treinamento de operadores.

Este capítulo irá apresentar uma pesquisa bibliográfica sobre os principais conceitos e informações relacionados ao tema desta dissertação.

### 2.1 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

O primeiro Controlador Lógico Programável surgiu no final da década de 60 nos Estados Unidos, desenvolvido especialmente para a montadora de automóveis General Motors. Sua necessidade partiu da dificuldade encontrada na atualização de sistemas elétricos convencionais baseados em relés. A alteração de um modelo de automóvel ou método de produção na empresa acarretava em alterações em painéis de controle, fiação, relés e temporizados que duravam semanas e geravam ociosidade e redução da produtividade. Além disso, o tempo de reparo ao ocorrerem erros de montagem era demasiadamente longo. O inventor deste equipamento foi o engenheiro americano Richard Morley.

A NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) conceitua Controlador Lógico Programável como “Um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica sequencial, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, diversos tipos de máquinas ou processos.” (WAI; CHUEN; WAH, 2009).

De acordo com Valencia-Palomo e Rossiter (2011), CLPs são os computadores mais aceitos na indústria, pois oferecem um sistema confiável e robusto, além de serem relativamente fáceis de programar e depurar e incluírem I/O dedicado, comunicação, expansão de memória, dentre outros.

Os componentes básicos de um CLP, citados por Mandal et al. (2013) são:

- Módulo de entrada;
- Módulo de saída;
- Processador;
- Memória;
- Fonte de energia;
- Dispositivo de programação;
- Software de programação;
- Cabo conector.

Rullán (1997) explica o funcionamento de um Controlador Lógico Programável da seguinte maneira: O CLP emula o comportamento de um esquema de comando elétrico. Como são máquinas sequenciais com o objetivo de emular o funcionamento de circuitos em paralelo que respondem instantaneamente, CLPs utilizam uma tabela de entradas e saídas e um ciclo de varredura. Quando um programa está rodando em um CLP, o ciclo de varredura é executado continuamente. A varredura resolve a lógica booleana relacionada às informações na tabela de entradas e saídas e tabelas de retransmissão internas. As informações nas saídas são atualizadas durante a varredura do programa.

Dentre os recursos de um CLP, Da'na et al (2008) destaca:

- Robustez;
- Alto grau de escalabilidade: modernas famílias de CLP tem uma variedade de tipos de CPU que permite fácil escalabilidade em termos de funcionalidade e desempenho;

- Extensibilidade: o design modular de CLPs permite extensão com uma vasta gama de módulos de entradas digitais e analógicas. Além disso, vários módulos de tecnologia integrada estão disponíveis para diversas áreas de aplicação.
- Capacidade de comunicação sofisticada: CLPs modernos têm portas de comunicação que fornecem conectividade centralizada ou distribuída.
- Ambiente de desenvolvimento poderoso: modernas famílias de CLP vêm com um ambiente de desenvolvimento que suporta diferentes linguagens para programação, permite configuração semi-gráfica de hardware e oferece eficientes mecanismos de depuração.

De acordo com Ohman, Johansson e Arzén (1998), a IEC 1131-3 define quatro linguagens padrão para a programação de CLPs:

1. Diagrama Ladder: linguagem muito comum em CLPs modernos, que especifica como utilizar a lógica de relés para implementar funções booleanas.
2. Diagrama de Blocos Funcionais: linguagem gráfica na qual as entradas e saídas são representadas por blocos conectados por linhas que indicam o fluxo de dados. A direção segue sempre da esquerda para a direita, exceto quando há realimentação de dados.
3. Texto Estruturado: linguagem de uso geral, de programação de baixo nível, semelhante a linguagem C. Possui instruções sequenciais, condicionais, repetitivas, dentre outras.
4. Lista de Instruções: linguagem similar ao código *assembly*, com comandos de carregar e armazenar. Um acumulador é utilizado para armazenar resultados.

De acordo com Pinto (2005), a escolha da linguagem de programação depende da formação do programador, do problema a resolver, do nível de descrição do problema, da estrutura do sistema de controle e da interface com outras pessoas ou departamentos. E complementa afirmando que as quatro linguagens são interligadas: elas proporcionam uma plataforma comum, relacionadas com a experiência existente. Neste sentido, elas também funcionam como uma ferramenta de comunicação, integrando pessoas de diferentes formações.

Park, Park e Wang (2008) discorrem que para a validação da programação de um CLP engenheiros precisam imaginar mudanças de estado da linha de produção a partir das entradas e saídas do CLP. Essa é a razão que ambientes convencionais de programação de CLP são frequentemente ineficientes e sujeitos a erros humanos. Quanto mais complicada a configuração das linhas de produção e seus controles, mais forte a necessidade de um ambiente de programação de CLP mais intuitivo.

## **2.2 SEGURANÇA INDUSTRIAL E NORMAS REGULAMENTADORAS**

Pela dimensão que os acidentes industriais podem ter, há uma grande preocupação com a segurança, de modo que existem normas e diretrizes internacionais que propõem metodologias qualitativas e quantitativas para a avaliação de sistemas instrumentados de segurança (SIS). Além das regulamentações internacionais, diversas empresas e grupos industriais vêm desenvolvendo e aprimorando ações e procedimentos complementares para projetar, construir e manter sistemas instrumentados de segurança. Lopes (2010) listam algumas das normas acerca deste tema: IEC 61508, IEC 61511, ANSI/ISA –S.84.01 e PETROBRAS N-2595.

No entanto, a maioria destes métodos não está disponível na literatura e são de difícil entendimento para quem não está familiarizado. Devido a esta complexidade, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos de modo a facilitar as análises destes sistemas e a compreensão destas normas e diretrizes. Beckman (1998) explica que a performance do SIS é definida em termos do seu Nível de Integridade de Segurança (SIL), que é definido pela sua Probabilidade de Falha de Demanda (PFD). A PFD é função do intervalo de prova, que se trata do período de tempo no qual o SIS deve operar dentro dos limites de PFD no SIL especificado, e da taxa de falha perigosa não detectada. O autor destaca a complexidade envolvida em diversas etapas da determinação do SIL e complementa afirmando que um resultado quantitativo é difícil e que as técnicas de classificação existentes nas normas são abstratas.

Lopes (2010) sugere dois procedimentos computacionais, para a definição do SIL requerido e para a realização da análise de sensibilidade. Catelani, Ciani e Luongo (2011) explicam o procedimento da IEC 61508 para avaliação do nível de SIL requerido da seguinte forma: “A Probabilidade de Falha em Demanda (PFD) de uma função de segurança realizada por um sistema instrumentado de segurança é determinada pelo somatório dos PFDs de todos os subsistemas (sensor, lógica e elementos finais).”

Ao afirmar que não existem exemplos e explicações das definições e cálculos de PFDs nesta IEC, o que dificulta o uso da norma como orientação na prática, os mesmos autores sugerem uma metodologia simplificada para a avaliação de segurança de SIS em conformidade com as normas IEC 61508 e IEC 61511. A técnica baseia-se em uma implementação alternativa do diagrama de blocos de confiabilidade (RBD) para a análise da performance do SIS. Catelani, Ciani e Luongo (2011) também afirmam que além destas metodologias, pode-se encontrar na literatura técnicas como Análise de Árvore de Falha, Análise de Markov, porém normalmente são bastante complexas ou demandam muito investimento financeiro ou tempo.

Segundo Stavrianidis e Bhimavarapu (2000) o SIS é composto por sensor, elemento executor de lógica — que pode ser um CLP de Segurança — e elemento final, com o objetivo de levar o processo a um estado seguro quando condições pré-determinadas forem violadas. Esses sistemas instrumentados de segurança utilizam uma estrutura independente da instrumentação de processo e do sistema de controle e, numa situação de risco, atuam para o desligamento da planta (podendo parar todos os equipamentos) com base na lógica programada. Isto é recomendado pelas normas IEC e ISA, pois os requisitos para sistemas de segurança são muito maiores do que para sistemas de controle.

Outro conceito importante quando se trata de segurança, é o de Nível de Integridade de Segurança, definido por Lopes (2010) como a magnitude da redução de risco que um SIS deve ser capaz de oferecer quando um evento perigoso gera uma demanda por sua atuação. O SIL adequado para um SIS é aquele que faz com que o risco inerente ao processo seja igual ou menor do que o risco aceitável, proporcionando assim a segurança necessária para a operação da planta.

Além da preocupação com a segurança de processo, existe nas indústrias um grande cuidado com a segurança do trabalho ou segurança ocupacional, já que os trabalhadores lidam muitas vezes com produtos químicos perigosos, equipamentos com elevadas pressões e temperaturas, etc. Segurança ocupacional pode ser definida como o conjunto de medidas que são adotadas visando minimizar os acidentes de trabalho, doenças ocupacionais, bem como proteger a integridade e a capacidade de trabalho do empregado. No Brasil, a segurança e saúde ocupacionais são regulamentadas através de Normas Regulamentadoras. Além disso, a depender da quantidade de funcionários da empresa, a mesma pode possuir um SESMT (Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho) e uma CIPA (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes).

Para garantir a segurança do trabalho, evitando acidentes como queimaduras, cortes e quedas, é obrigatório em indústrias o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) que incluem óculos, protetores auriculares, máscaras, capacetes, luvas, botas e outros itens de proteção. Além disso, fazem parte do cotidiano dos trabalhadores diálogos comportamentais, exames clínicos periódicos, treinamentos em saúde e segurança, dentre outras atividades.

Para garantir a segurança do processo, evitando acidentes como incêndios, explosões e vazamento de produtos tóxicos, é necessário o cumprimento das normas e diretrizes de segurança. Para a determinação do nível de segurança exigido pelo processo podem ser utilizadas técnicas qualitativas, quantitativas ou semi-quantitativas.

Stavrianidis e Bhimavarapu (2000) explicam cada uma destas técnicas e as compara:

- Técnicas qualitativas baseiam-se na experiência de quem trabalha na planta e de outros especialistas para identificar os possíveis cenários de acidentes e avaliar a probabilidade e as consequências de um acidente. Como exemplo destas técnicas temos Análise Preliminar de Perigo (APP) e HAZOP.

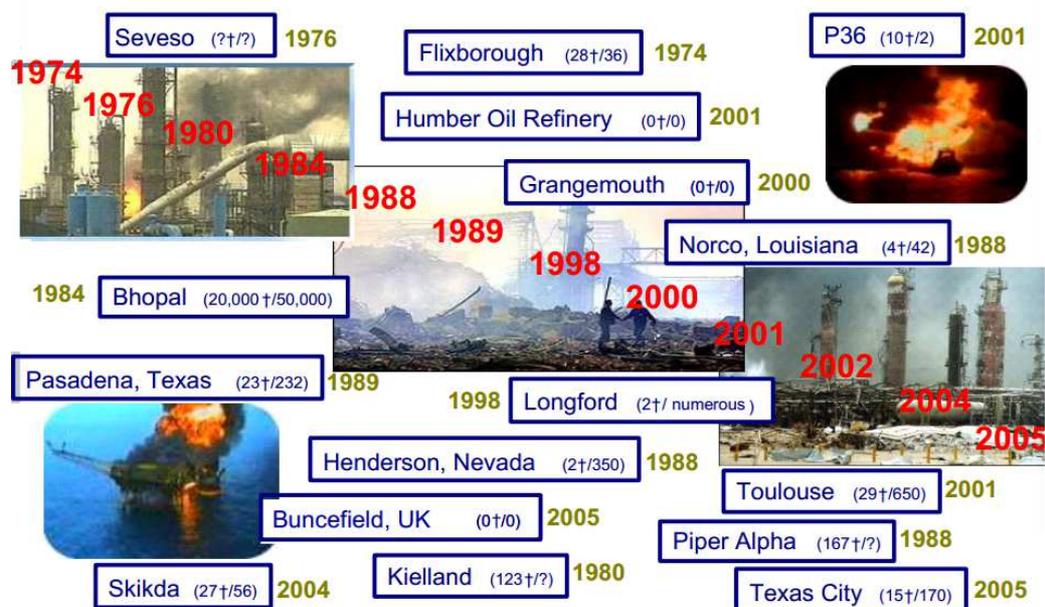
- Técnicas semi-quantitativas podem ser utilizadas para avaliar o risco de processo e permitem a análise do desenvolvimento do cenário de acidente. Esta técnica compreende os seguintes passos: 1) identificar os cenários de acidentes, 2) identificar os eventos básicos que compõem cada cenário de acidente, incluindo a falha ou sucesso dos sistemas de segurança, 3) atribuir uma probabilidade de ocorrência típica para cada evento, 4) estimar a faixa de probabilidade de ocorrência de um cenário de acidente, 5) realizar a análise das consequências para entender a gravidade das consequências deste acidente, 6) atribuir uma classificação para a gravidade das consequências e 7) avaliar o risco como uma combinação da probabilidade e consequências.

- A quantificação dos riscos associados a um processo ocorre através de uma Análise Quantitativa de Risco, que identifica e quantifica os riscos associados a acidentes de processo. Esta análise toma como base o cálculo do Risco Social e Risco Individual.

Maiores detalhes podem ser encontrados na Resolução CEPRAM Nº 3.965 de 30 de junho de 2009. O Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEPRAM) é responsável pelo Gerenciamento de Risco no estado da Bahia.

O não cumprimento das normas de segurança em uma indústria, pode acarretar em acidentes que podem provocar desde a morte de uma pessoa, até a destruição de cidades. A Figura 1 mostra alguns dos maiores acidentes industriais da história, dentre eles o acidente que ocorreu na Union Carbide, em Bhopal, no ano de 1984 e ficou conhecido como o pior desastre químico da história. Este acidente foi responsável por, aproximadamente, 20.000 mortes. De acordo com Weick (2010) apud Lapierre e Moro (2002) a sala de controle Da Union Carbide, no dia do acidente, mostrava 75 alarmes, muitos deles com defeito. O operador precisava ir diretamente no campo para obter informações confiáveis e diversas normas de segurança não estavam sendo cumpridas nesta indústria.

Figura 1 Histórico dos maiores acidentes industriais.



Fonte: <http://pt.slideshare.net/FbioArago/noes-bsicas-sepro-cascaes-rev>.

Para garantir a segurança, além do cumprimento da legislação relacionada, devem ser realizados com frequência testes e manutenção de equipamentos; os alarmes e controles de processo devem ser efetivos e treinamentos devem fazer parte do cotidiano das indústrias. Estas medidas podem evitar acidentes como o que ocorreu em Bhopal.

## 2.3 SIMULADOR PARA TREINAMENTO OPERACIONAL

O uso de Simuladores para Treinamento Operacionais (OTS) vem crescendo a cada dia. De acordo com Santoni et al. (2007), simuladores desempenham um papel importante uma vez que podem recriar uma variedade de condições operacionais para que o operador possa realizar determinada tarefa. Um estudo bastante difundido na literatura sobre o tema é o chamado “Cone da Aprendizagem”, realizado por Edgar Dale, em 1969. Este estudo possui a intenção de fornecer um modelo intuitivo da eficácia de vários métodos de ensino, conforme pode ser verificado na Figura 2.

Como resultado deste estudo, têm-se que a média de taxas de retenção do aprendizado é de 10% para leitura, 20% para audição, 50% para visão, 70% para a fala e 90% para o que falamos e fazemos, simultaneamente. Deste modo, o aprendizado através de OTS é considerado bastante eficaz já que se trata de uma simulação de uma experiência real.

Figura 2 Cone da Aprendizagem.



De acordo com Kadir, Xu e Hammerle (2011) desde o início dos anos 90, uma mudança de paradigma no campo de produção de manufaturas do “real” para “virtual” resultou em um aumento de pesquisas nesta área. Assim, o desenvolvimento dos computadores tornou possível simular atividades do sistema de manufaturas. O objetivo principal é entender e emular o comportamento particular de cada sistema em um computador reduzindo os experimentos em chão de fábrica.

Park, Park e Wang (2008) afirmam que simulação é uma ferramenta essencial no design e análise de sistemas industriais complexos que não podem ser facilmente descritos por modelos matemáticos e analíticos. Também é útil para encontrar gargalos, apontar erros de programação e até criar cronogramas de fabricação. Alguns usos adicionais do OTS são:

- Teste e validação de procedimentos de operação;
- Ensino acadêmico;
- Otimização de processos;
- Projetos e tomadas de decisão;
- Teste e validação das estratégias de controle e lógicas;
- Retirada de gargalos da planta;
- Investigação de soluções de engenharia;
- Compartilhamento de cenários de incidentes operacionais entre as equipes de turno.

Diversas maneiras de treinamento utilizando simulação e emulação vêm sendo discutidas:

Manca, Brambilla e Colombo (2013) propõem um treinamento para operadores de campo a partir de realidade virtual, com efeitos de áudio em 3D, onde eles serão submetidos a condições normais e críticas da planta para aprender como controlá-la, como prevenir acidentes, gerenciar emergências e melhorar a manutenção. Os operadores vivenciarão situações de risco sem consequências financeiras ou na segurança da planta.

Colak e Efe (2011) propõem um ambiente para Treinamento de CLP de acesso remoto. Trata-se de um ambiente acessado pela Internet (website) onde usuários poderão fazer download e upload de programas de CLP. É uma ferramenta integrada, flexível, com estrutura interativa. Para o acesso não seriam necessários pacotes de softwares e módulos extras. De acordo com os autores, é um ambiente efetivo de estudo, seguro e acessível para múltiplos usuários.

“O desenvolvimento e teste de um programa de controle de CLP leva tempo, aumenta a ociosidade do equipamento e, além disso os erros na programação podem causar danos. Todos estes problemas podem ser eliminados se existir um sistema de simulação computacional para o teste off-line de programas de controle.” (Hongzheng; Zhiyuan; Warren, 1992)

Kadir, Xu e Hämmerle (2011) afirmam que “Ao utilizar um sistema virtual, menos material é desperdiçado e interrupções na máquina real do chão de fábrica podem ser evitadas”.

A possibilidade da integração de sistemas torna o ambiente virtual de treinamento ainda mais completo e real. Isermann (2011) cita algumas das vantagens da integração: estabilização e amortecimento de processos dinâmicos, controle preciso, aumento do desempenho do processo, manutenção, segurança e qualidade do produto e desempenho dos trabalhadores.

O uso da tecnologia é uma excelente solução para a minimização de erros, falhas operacionais e acidentes industriais e maximização do lucro, da produção e melhor especificação de produtos. Para o projeto, implementação e testes de sistemas de controle uma técnica muito utilizada é a simulação Hardware-in-the-loop (HIL) onde parte dos componentes é hardware físico e parte é simulada, de modo que o hardware e software se comunicam e trocam dados em tempo real tornando possível a validação do desempenho do controle em um ambiente de testes muito próximo da realidade.

Isermann, Schaffnit e Sinsel (1999) discorrem que o objetivo de um HIL é desenvolver novos algoritmos de controle e investigar o efeito de falhas, tanto em sensores e atuadores quanto no próprio motor. Os autores afirmam que o aumento do uso deste tipo de sistemas é provocado pela complexidade e a relação entre processo e controle, além da redução do tempo de desenvolvimento atrelado ao aumento de qualidade, confiabilidade e segurança exigidos. Dentre as vantagens do uso de um HIL, são citados:

- Concepção e teste de hardware e software de controle sem a necessidade de operar um processo real;
- Teste do hardware e software sob condições ambientais extremas em laboratório (baixas/elevadas temperaturas, choques mecânicos, etc.)
- Teste e operação de condições perigosas e com diferentes interfaces;
- Economia de tempo de desenvolvimento e custo.

Palladino, Fiengo e Lanzo (2012) utilizam este tipo de simulação para desenvolver um dispositivo portátil denominado Micro HIL para testar estratégias de controle e funções de diagnóstico de um carro.

Outro tipo particular de tecnologia de simulação, citado por Viehweider, Lauss e Felix (2011) é o Power Hardware-in-the-loop que inclui hardwares reais de alto nível de energia no circuito de simulação. Esta tecnologia é muito utilizada no campo científico e de sistemas de eletricidade e trata-se de uma extensão do HIL clássico. Chen et al. (2008) afirmam que uma abordagem considerada menos robusta do que o HIL é a Software-in-the-Loop. Porém, os autores apresentam dois estudos de caso utilizando esta abordagem de modo a comprovar que caso os softwares utilizados sejam confiáveis para simular dinâmicas complexas em sistemas práticos e assim, possam ser utilizados para representar sistemas e hardware reais, então este tipo de simulação em tempo real irá proporcionar uma solução alternativa confiável para fins de validação e protótipos de sistemas.

“Melhorias para o hardware, software e dados de interface, agora tornam possível combinar simuladores de processos com dados do sistema de controle para projetos de pequeno e médio porte. Isso permite que os engenheiros tenham melhores modelos para os seus processos e melhor controle dos mesmos. Enquanto a tecnologia continua a melhorar, devemos esperar para ver mais interfaces de tais sistemas.” (Hill, 2010)

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho foi dividido em quatro etapas:

1. Desenvolvimento da simulação dinâmica do processo: Levantamento de dados, construção e validação do modelo;
2. Arquitetura do sistema: Definição da estrutura de softwares utilizados para o simulador;
3. Construção da lógica de intertravamento em emulador de controlador lógico programável, utilizando a linguagem Diagrama Ladder;
4. Realização de estudo de caso: Verificação do funcionamento da lógica construída para cenários típicos do cotidiano de uma indústria.

Por fazer parte do Projeto “Simulador para Estudo do Desempenho de Estratégias de Automação e Controle de Plataformas Offshore de Produção de Petróleo e Gás do Pré-Sal”, conforme mencionado anteriormente, algumas das atividades, que não estavam diretamente relacionadas ao escopo deste trabalho, foram realizadas por outros integrantes do mesmo. São elas: Modelagem e simulação do processo, Configuração das estratégias de controle e Desenvolvimento do módulo gerenciador e integrador dos softwares.

Apesar destas etapas não terem sido desenvolvidas especialmente para este trabalho, elas foram necessárias para a construção da ferramenta de simulação e validação de sistemas de segurança industrial. O uso da simulação dinâmica possibilitou a avaliação da sua robustez, assim como a análise do controle de processo, de modo que as devidas alterações de parâmetros e demais correções fossem executadas e estas atividades fossem validadas. Para o desenvolvimento do módulo de gerenciamento e integração do sistema houve contribuição desde a definição dos requisitos necessários até os testes de implementação.

### 3.1 DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO DINÂMICA DO PROCESSO

O processo químico escolhido para validação da ferramenta de simulação de sistemas de segurança foi o processo de tratamento de Gás Natural representado pela Figura 3. Neste processo, a carga proveniente do poço é composta por gás, água e óleo. Esta mistura é despressurizada através de uma válvula e segue para o separador trifásico onde ocorre a separação dos três componentes. Para este trabalho, o tratamento das correntes de água e de óleo, retiradas respectivamente do vaso separador trifásico e do separador bifásico, não foi simulado. O gás separado passa por um tratamento de modo a remover água e gases ácidos e atender as especificações e é conduzido a uma sequência de estágios de compressão com o objetivo de atingir uma pressão suficientemente grande para ser transportado através dos dutos.

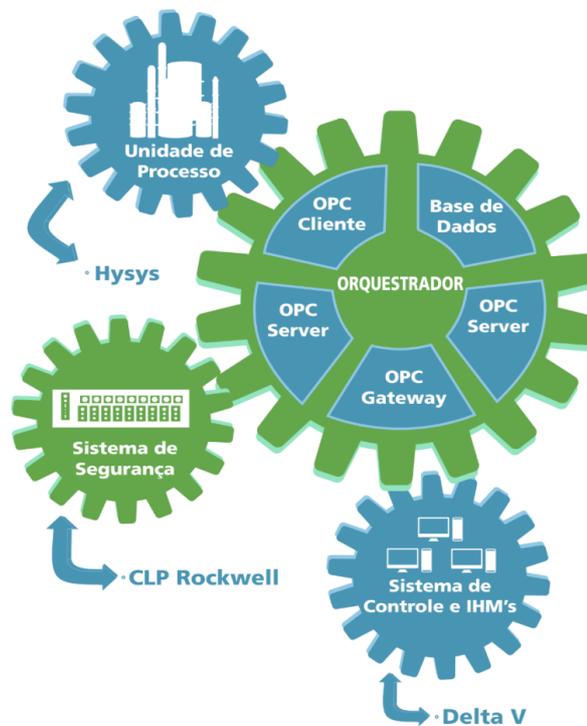
Nos estágios de compressão, além do aumento de pressão, ocorre um aumento da temperatura. Deste modo é necessário que os estágios de compressão sejam intercalados com resfriamento da corrente e separadores bifásicos para a retirada da água ainda presente. A necessidade de remover a água totalmente se deve a possível formação de hidratos, que podem comprometer os dutos de transferência do gás. Assim, após três estágios de compressão, a corrente segue para uma coluna desidratadora. Nesta coluna ocorre o processo de absorção, no qual o gás em contra-corrente entra em contato com o solvente desidratante trietilenoglicol (TEG). Após a absorção, o gás segue para o último estágio de compressão e, finalmente, é armazenado até o seu envio através de dutos.



### 3.2 ARQUITETURA DO SISTEMA

A ferramenta de simulação desenvolvida é composta por softwares que são executados ao mesmo tempo, interagindo entre si, com o objetivo de representar uma planta real. Para tanto, é necessário simular a unidade de processo, o sistema de segurança, o sistema de controle e interface humano máquina. A Figura 4 apresenta esta arquitetura.

Figura 4 Arquitetura do Simulador.



Fonte: a própria autora.

A unidade de processo foi desenvolvida no software Aspen Hysys. Esta unidade é responsável pela representação do processo em ambiente virtual. Assim, é necessário configurar todos os equipamentos, com suas características particulares, os produtos químicos, com suas especificações, e definir as condições sob as quais o processo opera de modo que os valores e o comportamento das variáveis simuladas sejam condizentes com a realidade.

O sistema de segurança foi emulado no CLP RSLogix 5000 da Rockwell Automation. Neste software foram configuradas as lógicas de alarmes e intertravamentos de segurança a partir da linguagem Diagrama Ladder. Assim, em caso de condições críticas, este software irá atuar no processo e/ou enviar alarmes para a IHM.

O Emerson DeltaV gerencia o sistema de controle do processo. Neste software foram configurados, para as variáveis críticas, os parâmetros de controle, os limites das variáveis, o tipo de controle, etc. Caso o DeltaV não seja capaz de controlar as variáveis, e as mesmas atinjam valores críticos, o RSLogix 5000 irá atuar. As interfaces pelas quais o operador acompanha e atua no processo também são construídas e gerenciadas pelo DeltaV. Foram criadas IHMs para cada etapa do processo de modo que as variáveis mais importantes do processo pudessem ser facilmente visualizadas.

O Orquestrador é o bloco central do sistema, que concentra todo o fluxo de dados, permitindo a interação entre todos os softwares. A comunicação é realizada através do padrão OPC (OLE for Process Control), considerado como um protocolo padrão na indústria. Este funciona através do Microsoft Component Object Model (COM), linguagem de programação orientada a objetos presente no sistema operacional Microsoft Windows.

### **3.3 CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DE INTERTRAVAMENTO**

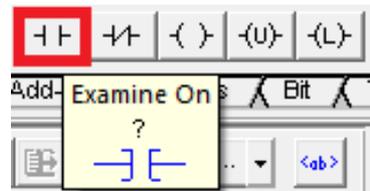
#### **3.3.1 Elementos Básicos do Software**

A lógica de intertravamento foi definida de modo a atuar caso a planta atinja uma condição insegura, evitando possíveis acidentes. O funcionamento de um CLP se dá a partir de ciclos de varredura, que se iniciam a partir da leitura de entradas. As entradas de um CLP são sinais de dispositivos de campo (sensores), analógicos ou digitais, que são convertidos em sinais lógicos. A partir das entradas, a CPU toma decisões e executa as instruções com base na programação da sua lógica. As instruções vindas da CPU são convertidas pelos módulos de saída do CLP e controlam dispositivos de campo (atuadores).

Na configuração da lógica, os seguintes comandos foram utilizados:

Elemento de entrada normalmente aberto: Na condição de repouso não permite a passagem da corrente elétrica (bit=0) para o próximo item da lógica. Este elemento está representado na Figura 5. Para sair da condição de repouso, deverá ser ativado e passará a permitir a passagem de corrente elétrica (bit=1).

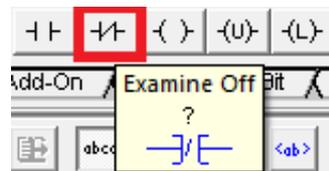
Figura 5 Normalmente aberto.



Fonte: RsLogix5000

Elemento de entrada normalmente fechado ou ligado: Na condição de repouso permite a passagem da corrente elétrica (bit=0) para o próximo item da lógica. Para sair da condição de repouso, deverá ser ativado (bit=1) e passará a não permitir a passagem de corrente elétrica. Este elemento está representado na Figura 6.

Figura 6 Normalmente fechado.



Fonte: RsLogix5000

Elemento de saída padrão: Caso seja atuado, ou seja, ativado ou desativado, a depender da lógica que comanda a saída, irá controlar a atuação de um dispositivo de campo ou servir de condição de entrada para uma outra lógica. Este elemento está representado na Figura 7.

Figura 7 Saída Padrão.

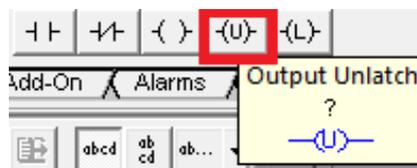


Fonte: RsLogix5000

Existe um tipo de elemento de saída que possui dois módulos de entrada que estão relacionadas. Uma destas entradas habilita o elemento “travador” (*Latch*) e a outra o elemento “destravador” (*Unlatch*).

Elemento de saída do tipo “destravador”. Caso seja habilitado, ele desenergiza o bit de dados que estava “travado”, ou seja, ele limpa a memória do CLP e retoma a configuração inicial. Quando desabilitada, esta instrução não altera o status do bit de dados. Este elemento está representado na Figura 8.

Figura 8 Saída Unlatch.



Fonte: RsLogix5000

Elemento de saída do tipo “travador”. Caso seja habilitada o bit de dados permanece energizado independentemente da mudança de condição dos módulos de entrada. Pode ser desabilitado pelo elemento “destravador”. Quando desabilitada não altera o status do bit de dados. Este elemento está representado na Figura 9.

Figura 9 Saída Latch.



Fonte: RsLogix5000

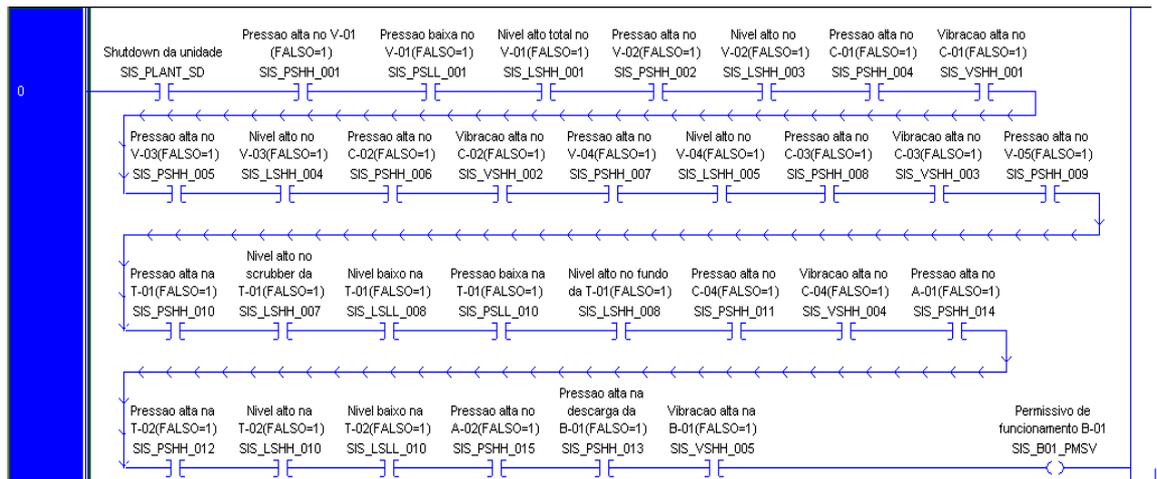
Além destes elementos foram utilizados blocos de temporizadores, blocos de operações aritméticas e blocos de comparação. A partir destes elementos, utilizando diagramas ladder, foi possível configurar as lógicas de alarmes e intertravamentos no Emulador Rockwell RSLogix 5000 v19.0.

### 3.3.2 Configuração das Lógicas

A configuração foi realizada de acordo com os conhecimentos adquiridos na literatura, durante o desenvolvimento da simulação do processo e na operação do processo emulado. Analogamente ao procedimento que deve ser empregado num processo real, o contato com profissionais especialistas no processo durante o andamento e desenvolvimento do projeto foi realizado e mostrou-se essencial.

A primeira lógica, ilustrada pela Figura 10 é dos permissivos. Esta lógica foi configurada para bombas, compressores e válvulas e serve para autorizar ou impedir que um equipamento seja ligado, ou no caso de válvulas, que sejam abertas. Existem condições do processo que devem ser verificadas antes que ocorra a liberação do permissivo, caso contrário o equipamento pode ser danificado ou o processo pode operar em condição insegura. De acordo com esta figura, para que a bomba seja ligada, existem 31 condições de entrada que precisam ser satisfeitas, dentre elas está o *Shutdown* da Unidade. Isto significa que caso a planta esteja na condição de desligamento, seja por emergência ou para manutenção, a bomba não poderá ser acionada.

Figura 10 Configuração de Permissivo



Fonte: RsLogix5000

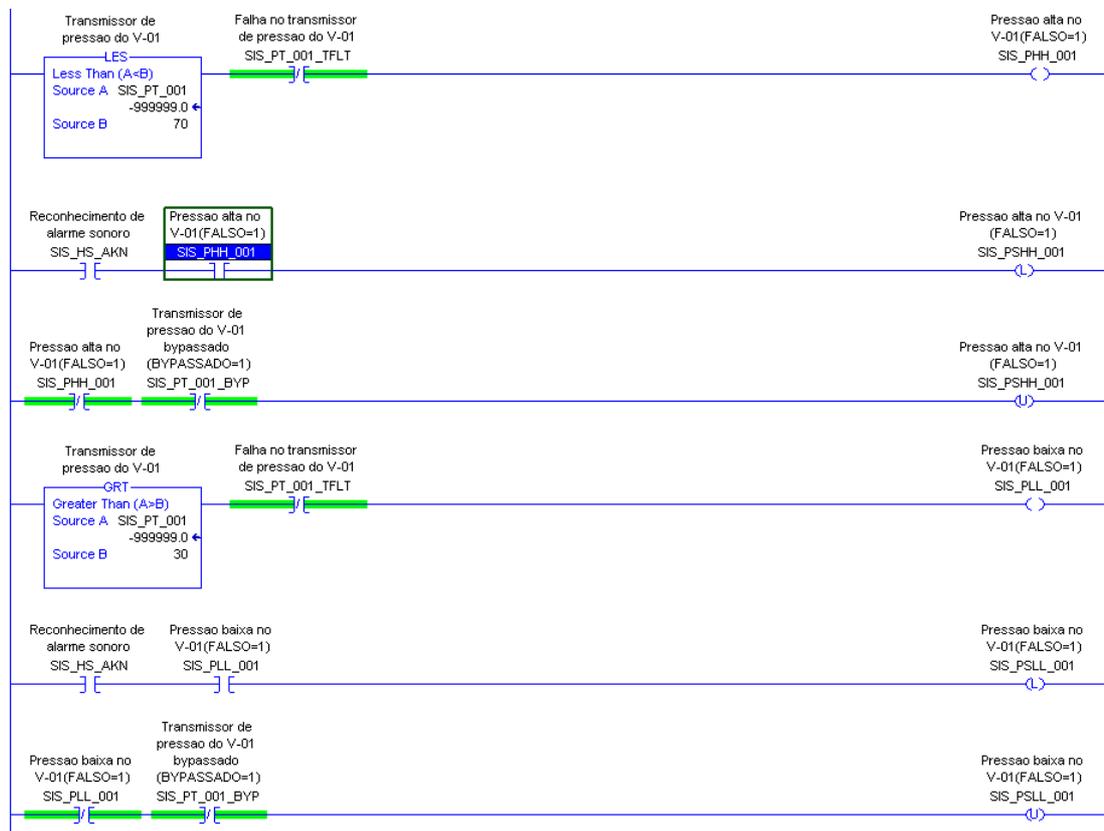
Pode-se verificar que as condições de entrada necessárias para liberar o permissivo de funcionamento da bomba são configuradas através de elementos do tipo normalmente aberto. Deste modo, caso a unidade esteja em *shutdown* ou uma das variáveis de entrada esteja fora dos limites críticos, a condição se tornará verdadeira e a saída, que é o permissivo de funcionamento, será desativado, impedindo que a bomba seja ligada. A lógica de *Shutdown* da unidade é similar. Caso ocorra alguma condição que traga risco à segurança dos trabalhadores, danos aos equipamentos ou ao processo, o elemento de entrada referente a esta condição se tornará verdadeiro e a saída, que neste caso é o desligamento da unidade, se tornará ativo. Assim, de acordo com a lógica programada, O CLP irá atuar no desligamento de equipamentos, fechamento de válvulas, dentre outras ações estabelecidas.

Outras lógicas configuradas são:

- Ligar – Caso seja solicitado o acionamento da bomba, que só ocorre caso o permissivo de funcionamento autorize essa ação, será solicitada uma confirmação. O tempo de confirmação é de 6 segundos, de modo que caso neste período não seja confirmada a solicitação ela é automaticamente cancelada. Caso qualquer uma das condições do permissivo se tornem verdadeiras, a bomba irá desligar e precisará ser reiniciada posteriormente, através do comando Reset.
- Desligar - Caso seja solicitada a desativação da bomba, será necessária uma confirmação. O tempo de confirmação é de 6 segundos, de modo que caso neste período não seja confirmada a solicitação ela é automaticamente cancelada. Caso qualquer uma das condições do permissivo se tornem verdadeiras, a bomba também irá desligar automaticamente e precisará ser reiniciada posteriormente, através do comando Reset.
- Reset – Caso a bomba mude do status LIGADA para DESLIGADA após uma falha ou um desligamento de emergência, será necessário executar este comando na mesma para que os alarmes e avisos sejam retirados e seja possível acioná-la novamente.

Como foi comentado, para que o permissivo da bomba seja liberado, as condições do processo devem estar dentro dos seus valores normais. Estes valores são definidos em outra lógica e estão relacionados com o transmissor. São estabelecidos limites máximos e mínimos aceitáveis para o processo e caso as variáveis estejam fora desse intervalo, os alarmes de alta e baixa, como PSHH, PSL, LSHH, LSL, dentre outros, são acionados. Um exemplo padrão para esta lógica está ilustrado na Figura 11. Neste exemplo, o valor da pressão medida pelo transmissor SIS\_PT\_001, que mede a pressão no vaso separador trifásico, deve estar dentro do intervalo de 30 kgf/cm<sup>2</sup> a 70 kgf/cm<sup>2</sup> para que o sistema esteja seguro.

Figura 11 Limites mínimos e máximos de uma variável.



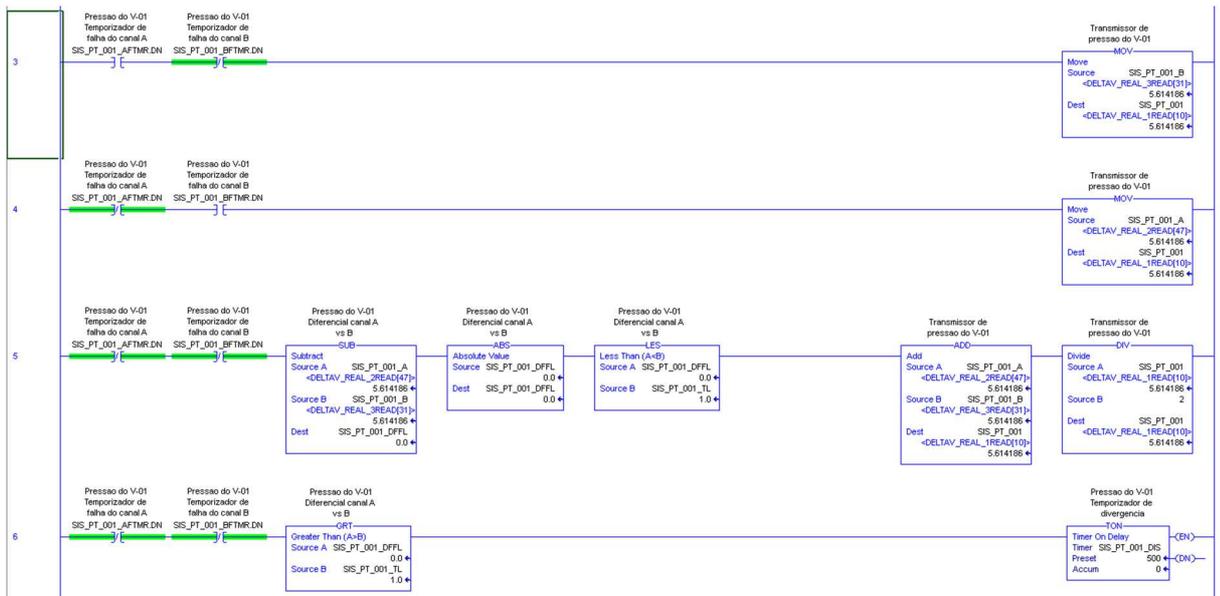
Fonte: RsLogix5000

O primeiro passo foi estabelecer os limites máximo e mínimo permitidos para aquela variável. Estes valores são resultantes de uma análise de risco. Caso a variável se encontre fora da faixa estabelecida, os alarmes serão enviados para a interface de operação.

Sempre que o alarme atuar, é necessário que o operador reconheça o mesmo para que a lógica retorne para a condição normal de processo. O operador pode também ignorar este alarme através do comando de *bypass*, caso deseje. Este comando pode ser utilizado por diversos motivos, por exemplo caso o desvio da variável tenha sido provocado por falha já identificada no transmissor e as devidas providências estejam sendo tomadas. O *bypass* exige uma análise criteriosa para sua implantação e as consequências desta manobra devem ser consideradas. Este exemplo de lógica foi para a variável pressão, porém as variáveis nível, vibração e temperatura seguem o mesmo padrão.

Para checar se o desvio de alguma variável foi causado por qualquer tipo de falha, uma outra lógica foi programada e pode ser verificada pela Figura 12.

Figura 12 Lógica de falha de canais dos transmissores.



Fonte: RsLogix5000

Os sinais chegam do campo através de 2 canais, A e B. Os valores transmitidos por cada canal são comparados com um valor limite e entre si.

Caso um dos canais esteja abaixo deste limite, indicando zero vivo, ele é considerado em falha. Caso um dos canais esteja falhando, o valor da variável é transmitido apenas pelo outro. Caso nenhum dos canais apresente falha, é calculada a diferença dos valores das variáveis transmitidas por esses canais e o resultado é comparado com uma tolerância. Se a diferença for menor do que o valor estabelecido como aceitável, o valor transmitido para a IHM é uma média aritmética entre os dois canais. Se for maior que a tolerância, um sinal de falha de transmissão total é enviado e um valor absurdo (-999999) é mostrado na IHM do operador para que ele identifique facilmente que aquele valor deverá ser desconsiderado.

As lógicas completas de intertravamentos e alarmes da unidade de tratamento de gás podem ser encontradas no Apêndice B.

### 3.4 ESTUDO DE CASO

Para a validação da lógica e sua eficácia no quesito segurança, o CLP foi integrado via OPC (*OLE for Process Control*) com o simulador de processos Aspen Hysys e com o DeltaV, para que as variáveis de processo e equipamentos fossem acompanhadas através das IHMs.

Para a validação da lógica de intertravamento foram testadas as seguintes situações:

- Atuação na permissão de funcionamento de equipamentos;
- Atuação em desligamento da planta (*Shutdown*);
- Atuação diante de falha de instrumento.

Além disso, a partir da ferramenta criada foi possível definir os procedimentos de partida e parada da planta. Vale ressaltar que ambos os momentos são críticos, podendo ocorrer problemas que acarretem em perdas financeiras resultantes de danos em equipamentos (o desligamento repentino dos equipamentos diminui o seu tempo de vida), perda de produto, ou podem acontecer situações de alto risco à segurança dos operadores, como explosão de um vaso por aumento de pressão.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a construção da ferramenta de simulação de sistemas de segurança industrial, o primeiro passo foi o desenvolvimento e validação da simulação, garantindo que a mesma é fidedigna com a realidade. A seguir, foi realizada a especificação funcional, onde foi definida a arquitetura do sistema e a padronização das telas de interface com o operador no que diz respeito a botões, funções, alarmes, assim como a padronização da lógica de intertravamento. A etapa subsequente foi a construção da lógica, em linguagem Ladder de programação. Para isso, foi necessário o estudo do processo e a verificação dos intertravamentos e alarmes necessários, com base na segurança e na criticidade das variáveis.

Para a validação do simulador, foram testados cenários em que o sistema atuou de modo integrado e que as respostas fossem condizentes com a realidade e estivessem em conformidade com o que foi especificado. Assim, foram testados alguns cenários de operação nos quais o Controlador Lógico Programável precisasse agir. Reis et al. (2015) apresenta outro estudo de caso realizado utilizando este simulador, com o objetivo de testar a integração dos softwares utilizados.

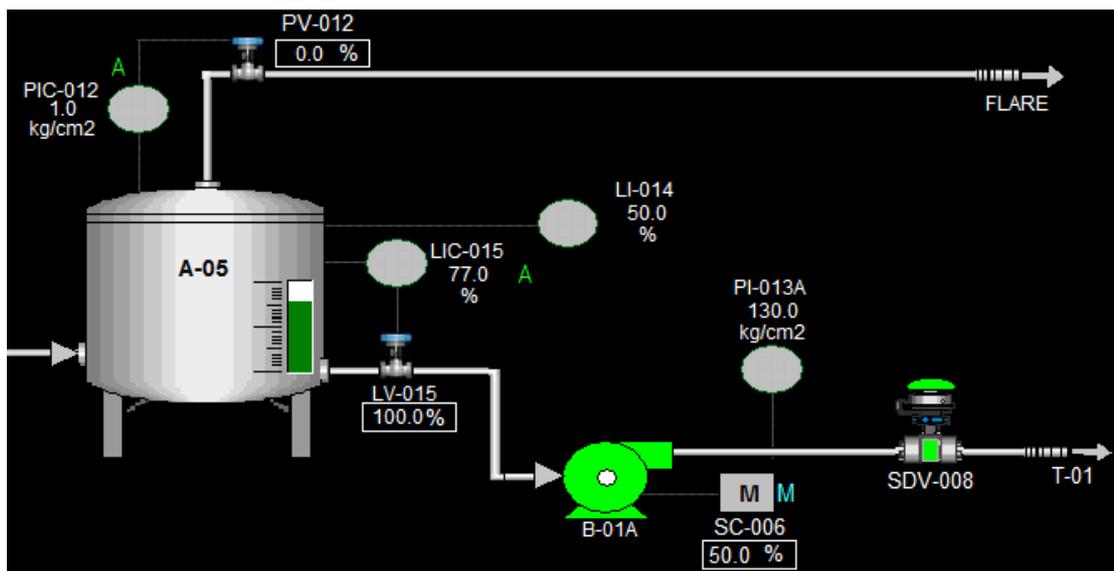
O simulador também possibilitou a definição dos procedimentos de partida e parada da planta de modo que não ocorressem condições inseguras e nem danos aos equipamentos.

Desde modo, a validação do simulador de sistemas de segurança, efetiva todas as etapas necessárias para o seu desenvolvimento, podendo ser utilizada para treinamento operacional em plantas reais, definição de procedimentos, análise de lógicas de intertravamentos, dentre outras aplicações.

## 4.1 ATUAÇÃO NA PERMISSÃO DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS

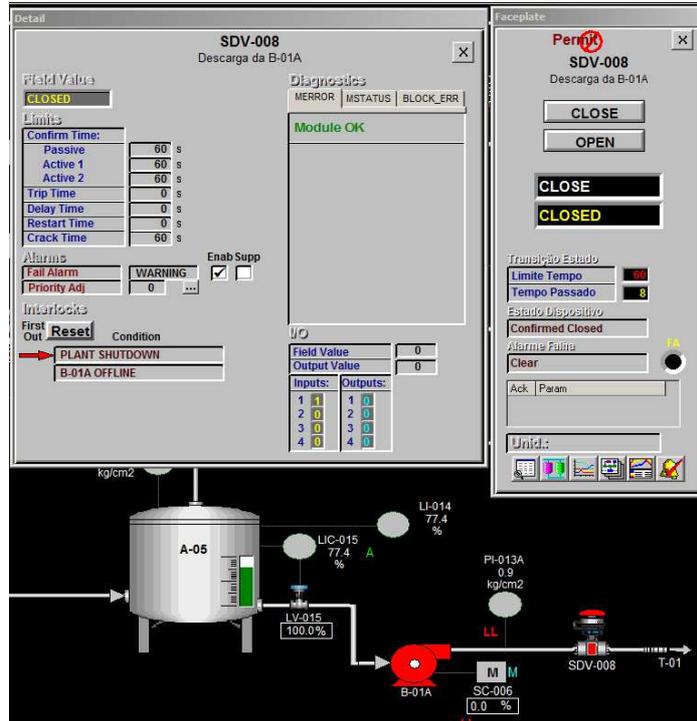
O funcionamento adequado e seguro de alguns equipamentos, tais como compressores, bombas e válvulas de segurança, são essenciais para qualquer processo. Para evitar o acionamento indevido dos equipamentos, é necessária a análise de certas condições de processo. Para exemplificar a atuação do CLP na permissão de funcionamento de equipamentos, será mostrado o caso da válvula SDV-008, que só poderá ser aberta caso a planta não esteja em condição de shutdown e caso uma bomba, localizada a montante da mesma, esteja ligada. Esta condição serve para proteger a bomba, pois caso ela seja acionada sem uma contrapressão na descarga a mesma irá operar com vazão acima do permitido demandando uma grande carga de corrente elétrica, o que poderá danificar o equipamento. Logo deve-se inicialmente ligar a bomba para em seguida abrir a válvula. A Figura 13, Figura 14 e Figura 15 apresentam, respectivamente, a localização da válvula SDV-008, as condições para permitir a abertura desta e a atuação da lógica de permissivo na IHM do sistema (DeltaV).

Figura 13 Localização da válvula SDV-008.



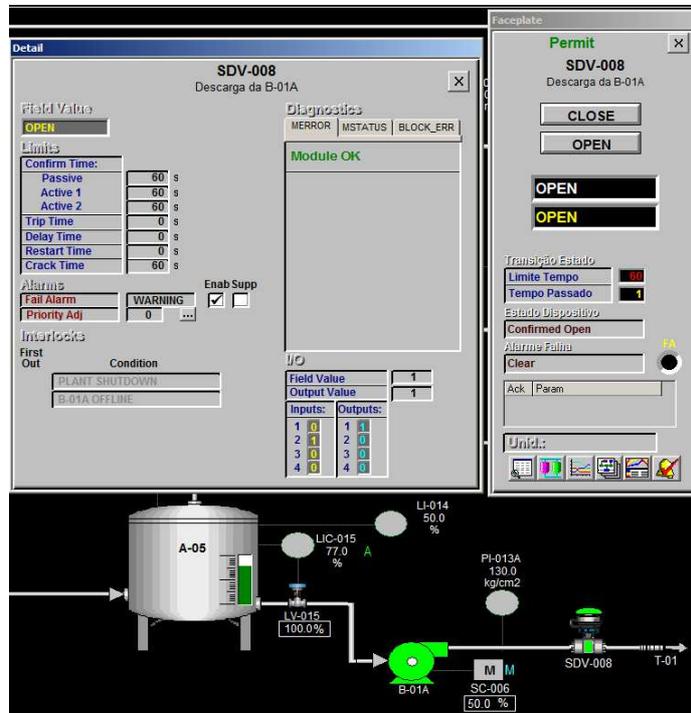
Fonte: DeltaV

Figura 14 Condições para permitir a abertura da SDV-008.



Fonte: DeltaV

Figura 15 Permissivo liberado para abertura da SDV-008.



Fonte: DeltaV

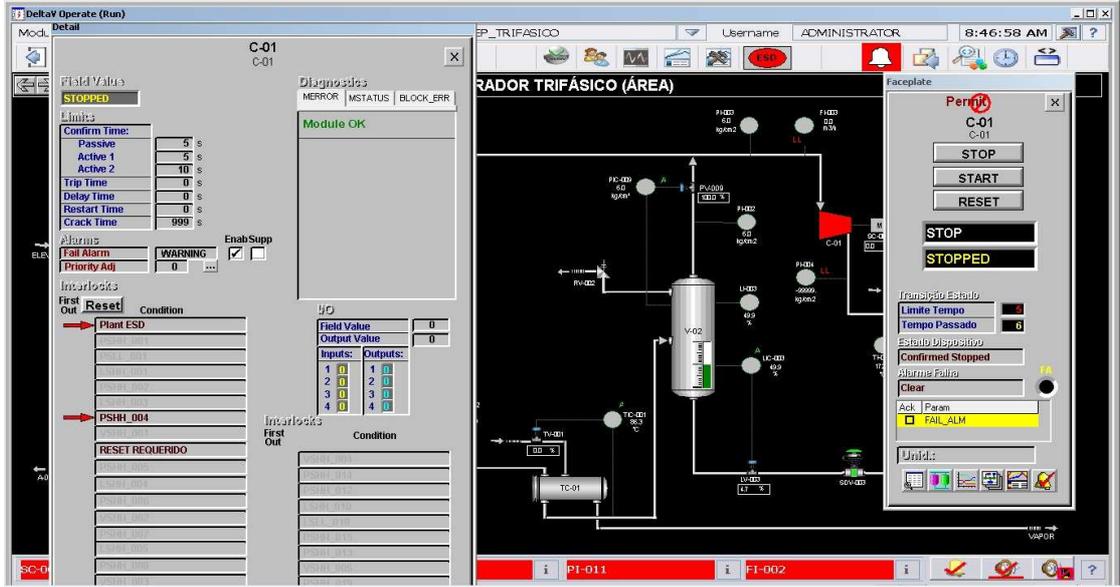
## 4.2 ATUAÇÃO EM DESLIGAMENTO DA PLANTA (SHUTDOWN)

O Sistema de Desligamento de Emergência de uma planta é projetado para minimizar as consequências caso ocorram situações críticas para o processo. Dentre estas situações críticas podem ser citadas altas pressões em vasos, que podem provocar explosões, vazamentos de substâncias inflamáveis, que podem provocar incêndios, vazamentos de substâncias tóxicas que podem contaminar o ambiente, dentre outras. Estas situações que acarretam no desligamento da planta variam a depender do processo.

Quando ocorre um Desligamento de Emergência, alguns equipamentos que podem provocar o agravamento da situação crítica são desligados. Porém, o desligamento simultâneo destes equipamentos críticos podem provocar o descontrole total das variáveis de processo, apresentando um grande risco para a integridade das pessoas e da unidade.

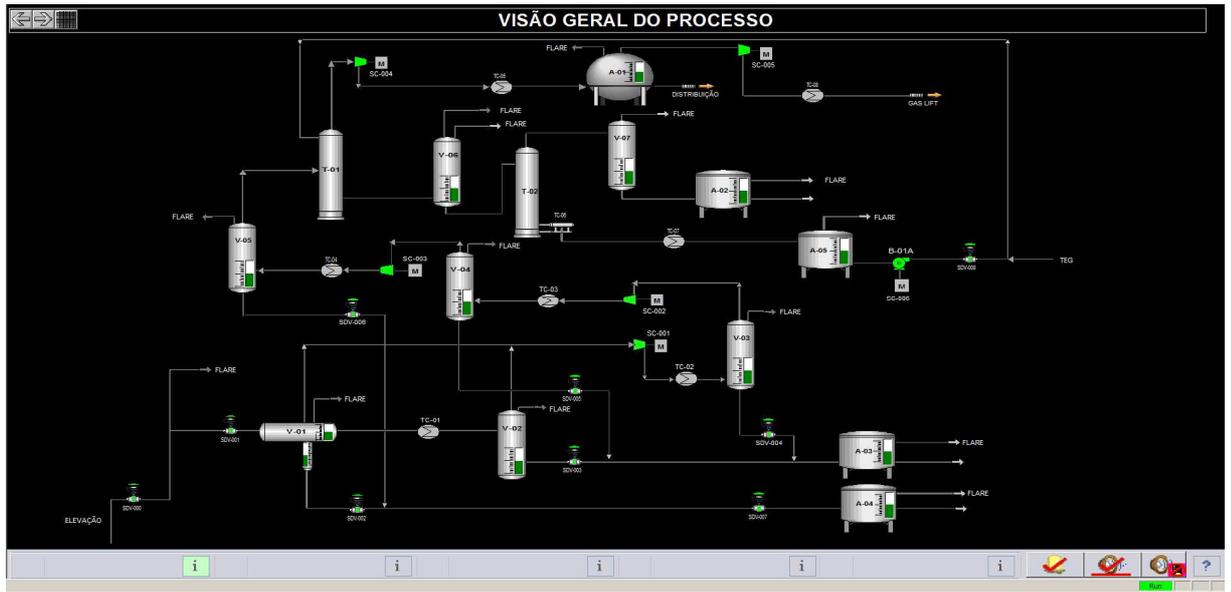
A Figura 16 mostra o desligamento do compressor C-01 através da lógica de Shutdown. O desligamento da planta ocorreu devido ao grande valor de pressão na descarga deste equipamento, indicada pelo TAG (PSHH\_004). Esta pressão elevada pode provocar rompimento da linha, vazamento de gás inflamável e tóxico, danos ao compressor e/ou ao trocador de calor à jusante do compressor. A Figura 17 mostra a visão geral desta planta na IHM operando em estado estacionário e a Figura 18 mostra a visão geral da planta em Shutdown, de modo que é possível verificar os equipamentos que são desligados caso ocorra uma emergência na planta.

Figura 16 Indicação de Pressão Alta e de Desligamento de Emergência.



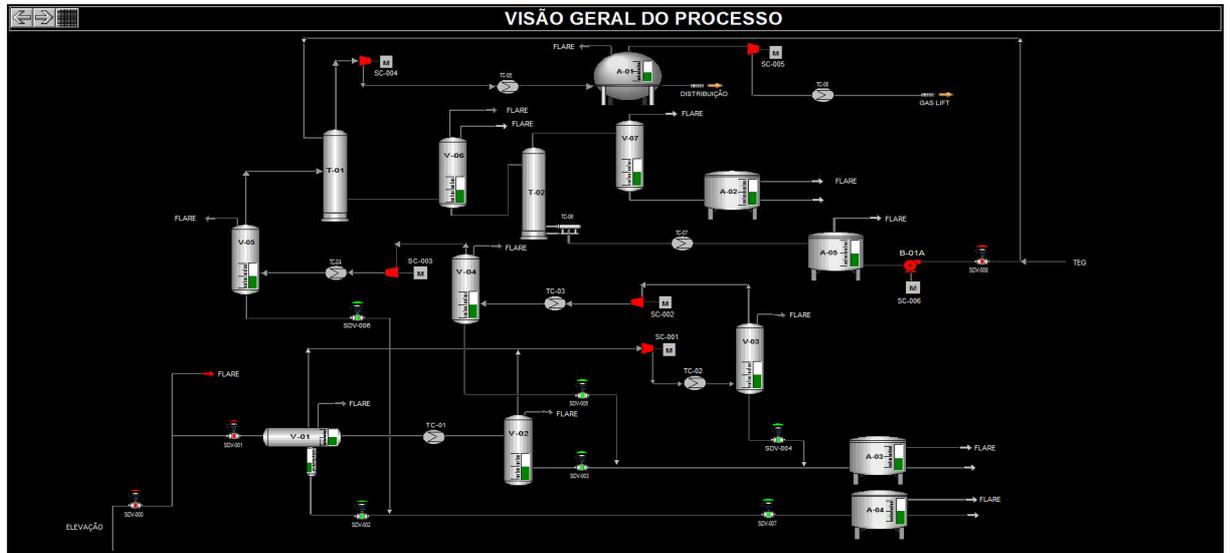
Fonte: DeltaV

Figura 17 Planta Operando em Condição Estacionária.



Fonte: DeltaV

Figura 18 Planta em Condição de Desligamento de Emergência.



Fonte: DeltaV

### 4.3 ATUAÇÃO DIANTE DE FALHA DE INSTRUMENTOS

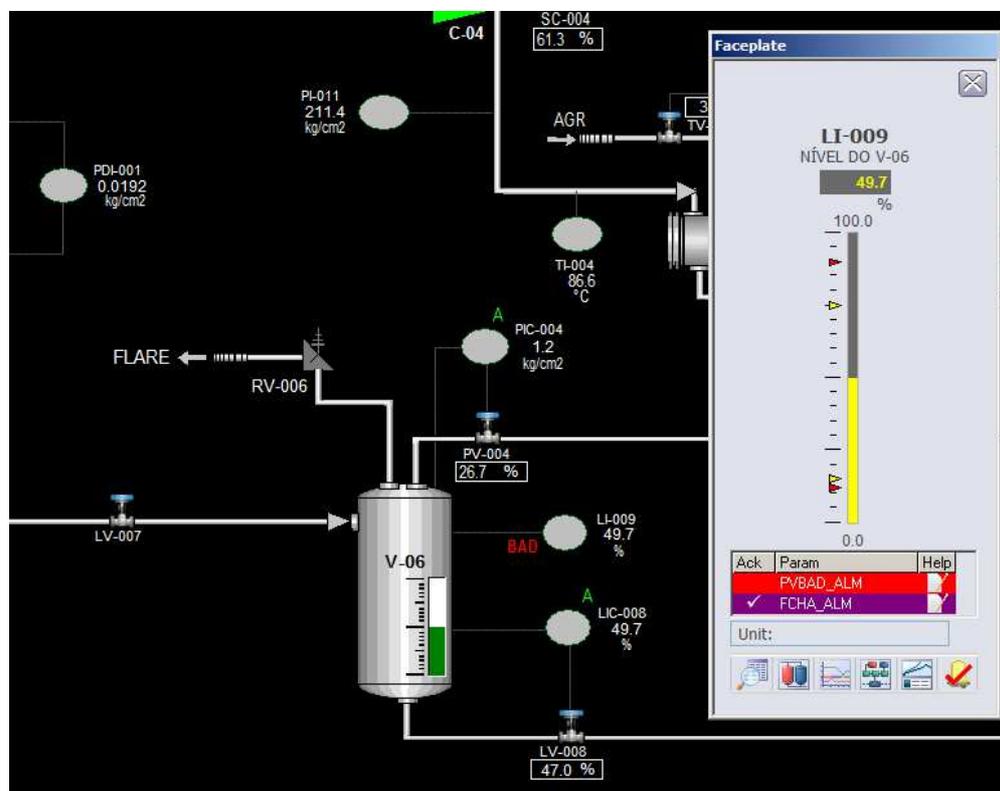
De maneira geral, um controlador lógico programável consiste em módulos de entrada, uma unidade central de processamento (CPU) e módulos de saída. Os dispositivos de campo enviam informações através de sinais digitais ou analógicos que são convertidos em sinais lógicos a serem usados pela CPU, que irá executar instruções com base na programação contida em sua memória.

Existem módulos nos quais os sinais de campo chegam ao CLP através de canais seriais. Cada fabricante estabelece um protocolo de comunicação entre os dispositivos de campo e os canais, os mais comuns são Modbus (Modicon - Schneider Electric), EtherCAT (Beckhoff), Profibus (Siemens), Unitelway (Telemecanique - Schneider Electric) e DeviceNet (Allen Bradley). A comunicação também pode ser realizada através de fiação, como por exemplo através do protocolo HART. Estes canais de comunicação permitem conectar à interface de operação (IHM), outros CLPs e até mesmo com unidades de entradas e saídas remotas.

O acompanhamento das variáveis da planta é realizado através da IHM. Os valores que podem ser visualizados nesta tela são provenientes dos canais seriais e estão sujeitos a defeitos e falhas, que podem ocorrer tanto na comunicação, quanto na eletrônica. Estes defeitos podem provocar mudança de valores das variáveis levando o operador a executar operações inadequadas ou podem acabar levando ao desligamento da planta. Deste modo, para evitar estes acontecimentos, muitas vezes ocorre redundância da informação, ou seja, dois dispositivos enviam a mesma informação, para diferentes canais em diferentes módulos de entrada.

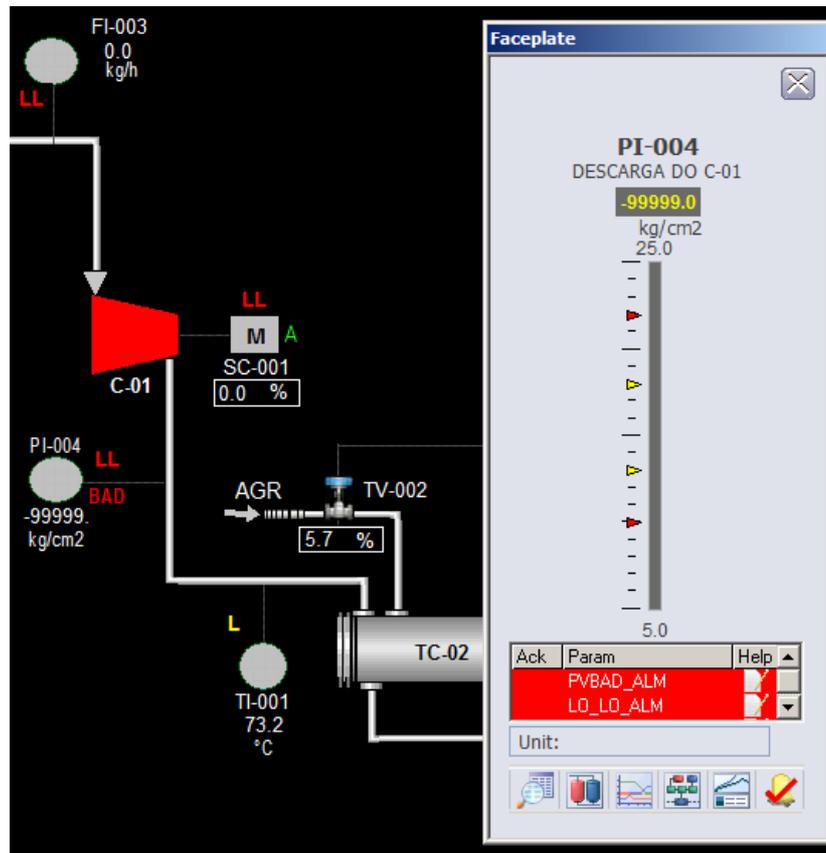
Na Figura 19 a IHM mostra que um dos canais com a informação do nível do vaso 06 está em falha. Logo a informação está sendo recebida apenas do Canal B. Na Figura 20 a IHM mostra que está ocorrendo uma falha no envio da informação da pressão de descarga do compressor 1, de modo que um valor esdrúxulo está aparecendo na tela para que o operador facilmente visualize e tome alguma atitude para reverter o problema.

Figura 19 Falha em um dos canais.



Fonte: DeltaV

Figura 20 Falha do instrumento.



Fonte: DeltaV

#### 4.4 PROCEDIMENTO DE PARTIDA DA PLANTA

A partida de uma planta ocorre em regime transiente, tratando-se então de um momento crítico de operação. Dessa forma, é necessário um planejamento detalhado para evitar complicações durante este procedimento. Além disso, é importante fazer o acompanhamento da operação da planta até que a mesma estabilize. O não cumprimento da sequência determinada pode ocasionar um desligamento brusco da unidade.

Durante a partida de uma planta, o sistema encontra-se distante do ponto de operação, o que pode ocasionar alguns problemas. No caso do compressor, por exemplo, o mesmo pode vir a trabalhar de maneira instável em decorrência de fenômenos prejudiciais como surge, no qual a vazão de sucção não é suficiente para manter o fluido estável dentro deste equipamento. As consequências provocadas por esses fenômenos podem ser refletidas em queda de eficiência, danos severos ao equipamento e até no comprometimento da segurança dos operadores.

As Tabelas a seguir mostram o procedimento com os passos necessários para a partida, separados por área, conforme as IHMs pelas quais o operador acompanha e interfere no processo.

Tabela 1 - Procedimento de Partida (Parte 1)

Área: Elevação	
<b>SDV-000</b>	Abrir válvula

A abertura da válvula de segurança se dá em função da necessidade de entrada da carga no sistema. Essa válvula é projetada de forma que o fluxo do fluido seja interrompido sob detecção de um evento perigoso durante a operação, tanto na partida, como no sistema já estabilizado. Caso a SDV-000 não seja aberta, a partida da planta não acontecerá e os próximos passos não poderão ser efetivados, haja vista que não existirá vazão.

Tabela 2 - Procedimento de Partida (Parte 2)

Área: Separador Trifásico	
<b>SDV-001</b>	Abrir válvula
<b>TIC-009</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 67°C
<b>SDV-003</b>	Abrir válvula
<b>LIC-001</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>LIC-003</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>SDV-002</b>	Abrir válvula (reconhecer alarme para permitir abertura da SDV)
<b>LIC-002</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 0.118 m
<b>TIC-001</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 80 °C
<b>TIC-002</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 40°C
<b>PIC-001</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 5.8 kgf/cm <sup>2</sup>

<b>Área: Separador Trifásico</b>	
<b>PIC-009</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 5.5 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Área: Etapa de Armazenamento</b>	
<b>SDV-007</b>	Abrir válvula
<b>PIC-007</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 4.572 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>LIC-013</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>PIC-008</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 0.765 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>LIC-014</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%

<b>Área: Estágio de Compressão</b>	
<b>SDV-004</b>	Abrir válvula
<b>LIC-004</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>PIC-010</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 14.8 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>TIC-003</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 40°C
<b>SDV-005</b>	Abrir válvula
<b>LIC-005</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>PIC-011</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 36.7 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>TIC-004</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50°C

<b>Área: Etapa de Desidratação e Armazenamento</b>	
<b>SDV-006</b>	Abrir válvula
<b>LIC-006</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>PIC-002</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 123.4 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>LIC-008</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>PIC-004</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 1.02 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>TIC-005</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 40°C
<b>LIC-012</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>PIC-003</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 205 kgf/cm <sup>2</sup>

<b>Área: Etapa de Regeneração e Armazenamento</b>	
<b>TIC-006</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 144 °C
<b>LIC-009</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>TIC-007</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 34.93 °C
<b>PIC-012</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 0.92 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>LIC-015</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 60%
<b>SC-006</b>	Com o controlador em manual, colocar energia de 43.75% (1750 rpm)
<b>B-01</b>	Ligar bomba
<b>SDV-008</b>	Abrir válvula
<b>PIC-005</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 0.9432 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Área: Etapa de Regeneração e Armazenamento</b>	
<b>LIC-010</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%

<b>PIC-006</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 0.816 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>LIC-011</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 50%
<b>Área: Etapa de Gas Lift</b>	
<b>TIC-008</b>	Colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 35°C
<b>FIC-001</b>	Com o controlador em manual, colocar a válvula com 30% de abertura

Com essa parte do procedimento concluída, tem-se: fases líquidas do processo estabilizadas e os controladores de pressão, nível e temperatura em automático. Com isso, é possível iniciar o procedimento de partida dos compressores. Vale ressaltar que, enquanto não estão ligados, está havendo perda de produto, pois o gás gerado está saindo dos vasos através das válvulas de alívio e sendo enviados para o sistema de *flare*, logo, o procedimento não deve ser feito de maneira lenta, para evitar perdas financeiras.

Tabela 3 - Procedimento de Partida (Parte 3)

<b>Área: Separador Trifásico</b>	
<b>SC-001</b>	Com o controlador em manual, colocar energia de 20%
<b>C-01</b>	Ligar compressor

<b>Área: Estágio de Compressão</b>	
<b>SC-002</b>	Com o controlador em manual, colocar energia de 25%
<b>C-02</b>	Ligar compressor
<b>SDV-004</b>	Caso feche, reconhecer alarme do PLC e abrir novamente
<b>SC-001</b>	Voltar a tela <b>Separador Trifásico</b> , colocar controlador em automático com <i>setpoint</i> de 11,4 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>SC-003</b>	Com o controlador em manual, colocar energia de 35%
<b>C-03</b>	Ligar compressor
<b>SDV-005</b>	Caso feche, reconhecer alarme do PLC e abrir novamente
<b>SC-002</b>	Colocar controlador em automático e com <i>setpoint</i> de 22,35 kgf/cm <sup>2</sup>

<b>Área: Etapa de Desidratação e Armazenamento</b>	
<b>SC-004</b>	Com o controlador em manual, colocar energia de 40%
<b>C-04</b>	Ligar compressor
<b>SC-003</b>	Voltar a tela <b>Estágio de Compressão</b> , colocar o controlador do SC em automático e com <i>setpoint</i> de 86,7 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>SC-004</b>	Colocar o controlador do SC em automático e com <i>setpoint</i> de 98,8 kgf/cm <sup>2</sup>

Após esta etapa, deve-se aguardar em torno de dois minutos para estabilização do sistema, antes de dar início a partida do compressor C-05.

Durante esse procedimento deve-se atentar para que o vaso separador trifásico não encha. Caso o seu nível comece a subir, deve-se fechar um pouco a válvula PV-001 para aumentar a pressão, depois colocá-la novamente no modo automático, através do controlador PIC-001, com o setpoint de 5,8 kgf/cm<sup>2</sup>.

Tabela 4 - Procedimento de Partida (Parte 4)

<b>Área: Etapa de Gas Lift</b>	
<b>SC-005</b>	Com o controlador em manual, colocar <i>setpoint</i> de 40%
<b>C-05</b>	Ligar compressor
<b>SC-005</b>	Colocar controlador em automático e com <i>setpoint</i> de 238,41 kgf/cm <sup>2</sup>

A partir desta etapa do procedimento, algumas alterações na bomba e nos compressores devem ser realizadas a fim de atingir as vazões desejadas no processo. Antes de iniciar o próximo passo, deve-se aguardar novamente cerca de 2 minutos.

Tabela 5 - Procedimento de Partida (Parte 5)

<b>Área: Estágio de Compressão</b>	
<b>SC-002</b>	Com o controlador em automático, colocar <i>setpoint</i> de 26 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>SC-003</b>	Com o controlador em automático, colocar <i>setpoint</i> de 88 kgf/cm <sup>2</sup>

<b>Área: Etapa de Regeneração e Armazenamento</b>	
<b>SC-006</b>	Com o controlador em manual, colocar energia de 55% (2200 rpm)

Neste momento, deve-se aguardar cerca de 2 minutos até estabilização dos *setpoints* determinados.

Tabela 6 - Procedimento de Partida (Parte 6)

<b>Área: Etapa de Gas Lift</b>	
<b>SC-005</b>	Com o controlador em automático, colocar <i>setpoint</i> de 240 kgf/cm <sup>2</sup>

Neste momento, deve-se aguardar até estabilização dos *setpoints* determinados.

Tabela 7 - Procedimento de Partida (Parte 7)

<b>Área: Etapa de Gas Lift</b>	
--------------------------------	--

<b>SC-005</b>	Com o controlador em automático, colocar <i>setpoint</i> de 242 kgf/cm <sup>2</sup>
---------------	---

Neste momento as alterações no processo devem ser interrompidas e deve-se aguardar até que a vazão direcionada para o Gas Lift (C-05) chegue em 77 kg/h, podendo ocorrer uma margem de erro de até 10%. Essa etapa do processo é lenta, porém de extrema importância para a estabilização da planta.

Quando a vazão desejada for atingida, deve-se então colocar os valores de *setpoint* finais nos compressores, através dos seus controladores de energia.

Tabela 8 - Procedimento de Partida (Parte 8)

<b>Área: Etapa de Gas Lift</b>	
<b>SC-005</b>	Com o controlador em automático, colocar <i>setpoint</i> de 238,31 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Área: Separador Trifásico</b>	
<b>SC-001</b>	Com o controlador em automático, colocar <i>setpoint</i> de 12,00 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Área: Estágio de Compressão</b>	
<b>SC-002</b>	Com o controlador em automático, colocar <i>setpoint</i> de 24,47 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>SC-003</b>	Com o controlador em automático, colocar <i>setpoint</i> de 92,00 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Área: Etapa de Desidratação e Armazenamento</b>	
<b>SC-004</b>	Com o controlador em automático, colocar <i>setpoint</i> de 100,00 kgf/cm <sup>2</sup>

Caso o passo a passo da etapa de estabilização não seja seguido, as vazões de produto, que vão para o armazenamento e para a área do Gas Lift, ficam abaixo das esperadas. Por isso, é necessário aumentar a potência dos compressores 02, 03 e 05 para reduzir a perda de gás no processo, que pode ocorrer através das válvulas de alívio de pressão.

## 4.5 PROCEDIMENTO DE PARADA DA PLANTA

Assim como o procedimento de partida, na parada da planta é importante seguir as etapas na ordem estabelecida com o objetivo de evitar falhas ao processo, assim como perdas financeiras oriundas de equipamentos danificados ou produtos não especificados. Isto é vital para a integridade dos operadores e de todos os funcionários envolvidos no funcionamento deste processo.

Operar com os valores recomendados e realizando as etapas corretamente evita-se, por exemplo, o aparecimento de surge nos sistemas de compressão, operação na qual o equipamento não consegue adicionar energia suficiente para vencer a resistência do sistema ou o decaimento do *head* desenvolvido diante da pressão de descarga. Consequentemente, alta vibração, aumento na temperatura e fluxo reverso podem vir a ocorrer. Estes efeitos também podem causar danos à selagem do rotor, à parte rotativa do mesmo e às peças cruciais do motor.

A seguir encontram-se os procedimentos aplicados para o cenário de parada:

Tabela 9 - Procedimento de Parada (Parte 1)

<b>Área: Etapa de Gas Lift</b>	
<b>SC-005</b>	Colocar em manual e reduzir gradativamente a energia até atingir 0.5%
<b>C-05</b>	Desligar compressor
<b>TIC-008</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>FIC-001</b>	Com o controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)

O processo de desligamento dos compressores deve ser realizado na ordem inversa do procedimento de partida, iniciando no C-05 até chegar ao C-01. Durante este procedimento, é importante que o intervalo entre um compressor e outro seja breve, pois ao desligar um compressor, o gás passa a ser direcionado para um sistema de alívio e queimado através do *flare*, desta forma o produto perde seu valor comercial.

Tabela 10 - Procedimento de Parada (Parte 2)

<b>Área: Etapa de Regeneração e Armazenamento</b>	
<b>SC-006</b>	Com o controlador em manual, reduzir energia de 5% em 5% até atingir 0%
<b>B-01</b>	Desligar bomba
<b>LIC-015</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>LIC-009</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-012</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>TIC-007</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>TIC-006</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>LIC-010</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)

<b>PIC-005</b>	Colocar controlador em manual e abertura da válvula em 50%
<b>LIC-011</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-006</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)

Durante este procedimento os controladores devem ser colocados no modo manual, pois como a planta está sendo desligada, não há necessidade da atuação automática destes. Para isso, a necessidade de cada controlador deve ser analisada, para determinar o seu posicionamento ideal:

- As válvulas referentes aos controladores de temperatura poderão ser completamente fechadas, pois sem vazão do fluido de processo nos trocadores, não será necessária a circulação de água ou vapor;
- As válvulas controladoras de nível também deverão ser fechadas, visto que o objetivo é cortar o fluxo dos fluidos na unidade;
- A válvula manipulada pelo FIC-001 também deve estar com 0% de abertura para que não haja refluxo de gás pressurizado da linha de injeção para a plataforma;
- As válvulas que controlam a pressão do sistema devem ser mantidas em abertura de 50%, evitando a pressurização do sistema, com exceção das válvulas localizadas nos tanques (A-02, A-03, A-04, e A-05), pois essas não sofrem tantas variações no processo e não devem ser despressurizadas com a abertura da válvula.

Tabela 11 - Procedimento de Parada (Parte 3)

<b>Área: Etapa de Desidratação e Armazenamento</b>	
<b>SC-004</b>	Colocar em manual e reduzir gradativamente a energia até atingir 0.5%
<b>C-04</b>	Desligar compressor
<b>SDV-006</b>	Fechar válvula
<b>LIC-012</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-003</b>	Colocar controlador em manual e abertura da válvula em 5%
<b>TIC-005</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>LIC-006</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-002</b>	Colocar controlador em manual e abertura da válvula em 50%
<b>LIC-008</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-004</b>	Colocar controlador em manual e abertura da válvula em 50%

Nessa etapa deve-se atentar para a válvula que envia o produto para o cliente. Esta deve ser mantida com uma abertura menor, garantindo a vazão de produto para o cliente e o inventário da esfera de armazenamento. Neste procedimento determina-se 5% de abertura, porém esse valor deve ser combinado com o cliente, visto que durante a parada de planta, só haverá o inventário da esfera para suprir suas necessidades.

Tabela 12 - Procedimento de Parada (Parte 4)

<b>Área: Estágio de Compressão</b>	
<b>SC-003</b>	Colocar em manual e reduzir gradativamente a energia até atingir 0.5%
<b>C-03</b>	Desligar compressor
<b>SC-002</b>	Colocar em manual e reduzir gradativamente a energia até atingir 0.5%
<b>C-02</b>	Desligar compressor
<b>SDV-004</b>	Fechar válvula
<b>SDV-005</b>	Fechar válvula
<b>TIC-004</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-011</b>	Colocar controlador em manual e abertura da válvula em 50%
<b>LIC-005</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>TIC-003</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-010</b>	Colocar controlador em manual e abertura da válvula em 50%
<b>LIC-004</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)

É necessário o fechamento das válvulas de segurança (SDV's) para evitar a contaminação do produto nos tanques finais, visto que o processo sai do estado estacionário neste procedimento e com as alterações do sistema, os produtos podem sair de especificação.

Tabela 13 - Procedimento de Parada (Parte 5)

<b>Área: Separador Trifásico</b>	
<b>SC-001</b>	Colocar em manual e reduzir gradativamente a energia até atingir 0.5%
<b>C-01</b>	Desligar compressor
<b>SDV-001</b>	Fechar válvula
<b>TIC-009</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>SDV-002</b>	Fechar válvula
<b>SDV-003</b>	Fechar válvula
<b>TIC-002</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)

<b>Área: Separador Trifásico</b>	
<b>PIC-009</b>	Colocar controlador em manual e abertura da válvula em 50%
<b>LIC-003</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>TIC-001</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-001</b>	Colocar controlador em manual e abertura da válvula em 50%
<b>LIC-001</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>LIC-002</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)

<b>Área: Etapa de Armazenamento</b>	
<b>SDV-007</b>	Fechar válvula
<b>LIC-013</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-007</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>LIC-014</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)
<b>PIC-008</b>	Colocar controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)

Com os compressores devidamente desligados, deve-se então fechar a válvula de alimentação do sistema (SDV-000).

Tabela 14 - Procedimento de Parada (Parte 6)

<b>Área: Elevação</b>	
<b>SDV-000</b>	Fechar válvula

A depender do inventário da esfera A-01, a válvula que envia gás para o cliente deverá ser fechada, para evitar danos ao equipamento. Como já mencionado, esse deve ser um acordo com o cliente, porém aqui foi considerado o fechamento desta logo após o procedimento de parada.

Tabela 15 - Procedimento de Parada (Parte 7)

<b>Área: Etapa de Desidratação e Armazenamento</b>	
<b>PIC-003</b>	Com o controlador em manual e fechar a válvula (0% de abertura)

## 5 CONCLUSÃO

Para a operação de uma planta industrial, é imprescindível que todos os sistemas sejam projetados, instalados e operados de forma segura e que instrumentos e sistemas de intertravamentos e alarmes envolvidos com segurança sejam operados com confiabilidade e eficiência.

O simulador desenvolvido neste projeto, mostrou-se capaz de ajudar na elaboração e validação de sistemas de segurança em plantas reais pois quando testadas condições que colocavam em risco a integridade das pessoas, da unidade ou do processo, a ferramenta atuou da maneira esperada, garantindo que a segurança fosse mantida, validando assim a lógica programada e a integração entre os softwares.

O simulador para validação de sistema de segurança de uma planta real possui todos os sistemas de automação e segurança emulados e operando de maneira similar a uma planta real. Estes sistemas foram integrados de modo que esta ferramenta poderá servir de auxílio no treinamento de pessoas envolvidas, direta ou indiretamente com a segurança da planta, melhorando a agilidade na solução de distúrbios e retorno a condição normal.

Estas pessoas poderão treinar a programação de controladores lógicos programáveis em linguagens de alto nível ou em Diagramas Ladder já que a ferramenta possui um emulador de CLP integrado ao sistema. Além disso, procedimentos críticos na operação de uma planta, como parada e partida, podem ser definidos previamente de modo a evitar que durante este procedimento na planta real não ocorra desligamento de emergência, acidentes, danos aos equipamentos, dentre outros problemas. Após definidos estes procedimentos podem ser treinados. Portanto, trata-se de uma maneira segura e eficiente de formação de pessoas e capaz de reduzir o risco de acidentes industriais.

O desenvolvimento desta dissertação gerou um artigo publicado nos anais do Congresso Rio Automação 2015:

- Controle e Automação de uma Plataforma Offshore para Treinamento de Operadores (OTS).

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

O emulador de CLP utilizado para o desenvolvimento do simulador para validação do sistema de segurança de uma planta industrial foi o Rockwell RSLogix 5000 v19.0, programado em linguagem ladder. Existem outros CLPs utilizados nas indústrias que possuem diferentes linguagens de programação e outras interfaces. Assim, sugere-se como trabalhos futuros ampliar o leque de Controladores Lógicos Programáveis utilizados no desenvolvimento do simulador e complementarmente desenvolver um treinamento sobre segurança e intertravamentos, abrangendo as normas e regulamentações envolvidas com segurança industrial.

Apesar do processo utilizado neste trabalho ter sido o tratamento de gás natural, a ferramenta deve servir para a simulação e validação de sistemas de segurança de qualquer outro processo. Portanto, uma forma interessante de testar a ferramenta é a utilização de um processo diferente. Outra sugestão é a utilização de dados de uma planta existente, já que neste projeto foram utilizados dados da literatura, isto iria tornar a ferramenta mais robusta e facilitar sua comercialização.

## REFERÊNCIAS

- ABDUL KADIR, A.; XU, X.; HÄMMERLE, E. Virtual machine tools and virtual machining—A technological review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 27, n. 3, p. 494-508, jun. 2011.
- AUGUSTON, Mikhail; MICHAEL, James Bret; SHING, Man-Tak. Environment behavior models for automation of testing and assessment of system safety. *Information and Software Technology*, v. 48, n. 10, p. 971-980, 2006.
- BALATON, M. G.; NAGY, Lajos; SZEIFERT, Ferenc. Operator training simulator process model implementation of a batch processing unit in a packaged simulation software. *Computers & Chemical Engineering*, v. 48, p. 335-344, 2013.
- BARROS, T. Desenvolvimento de supervisórios para monitoração de um processo de destilação simulado. Dez.2009.
- BECKMAN, Lawrence. Determining the required safety integrity level for your process. *ISA transactions*, v. 37, n. 2, p. 105-111, 1998.
- BRAMBILLA, Sara; MANCA, Davide. Recommended features of an industrial accident simulator for the training of operators. *Journal of loss prevention in the process industries*, v. 24, n. 4, p. 344-355, 2011.
- BRASIL. CEPRAM. Conselho Estadual do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO Nº 3.965 DE 30 DE JUNHO DE 2009. Dispõe sobre o Gerenciamento de Risco no Estado da Bahia. *Diário Oficial, Salvador, Bahia, 11 ago. 2009. Disponível em: [http://www.meioambiente.ba.gov.br/legislacao/resolucao\\_cepram/resolucao\\_3965.pdf](http://www.meioambiente.ba.gov.br/legislacao/resolucao_cepram/resolucao_3965.pdf)*. Acesso em: 20/12/2014
- CABRAL, Éderson Gonçalves Dutra; CARVALHO, A. S.; CARVALHO, H. S. DESENVOLVIMENTO DE SIMULADORES INDUSTRIAIS. Confict, 2010.
- CARRASCO, Juan A.; DORMIDO, Sebastián. Analysis of the use of industrial control systems in simulators: State of the art and basic guidelines. *ISA transactions*, v. 45, n. 2, p. 295-312, 2006.
- CATELANI, Marcantonio; CIANI, Lorenzo; LUONGO, V. A simplified procedure for the analysis of Safety Instrumented Systems in the process industry application. *Microelectronics Reliability*, v. 51, n. 9, p. 1503-1507, 2011.
- CHEN, Xiang et al. Real time software-in-the-loop simulation for control performance validation. *Simulation*, v. 84, n. 8-9, p. 457-471, 2008.
- COLAK, Ilhami; EFE, Alper. Design and implementation of a remote access PLC training set. In: *Electrical Machines and Power Electronics and 2011 Electromotion Joint Conference (ACEMP), 2011 International Aegean Conference on. IEEE, 2011. p. 425-429.*

DA'NA, S. et al. Development of a monitoring and control platform for PLC-based applications. *Computer Standards & Interfaces*, v. 30, n. 3, p. 157-166, 2008.

DESSER, Terry S. Simulation-based training: the next revolution in radiology education?. *Journal of the American College of Radiology*, v. 4, n. 11, p. 816-824, 2007.

PATLE, Dipesh S.; AHMAD, Za. Training simulator development for palm oil based biodiesel production. 2013.

EDGAR, Thomas F.; OGUNNAIKE, Babatunde A.; MUSKE, Kenneth R. A global view of graduate process control education. *Computers & chemical engineering*, v. 30, n. 10, p. 1763-1774, 2006.

VALENCIA-PALOMO, G.; ROSSITER, J. A. Programmable logic controller implementation of an auto-tuned predictive control based on minimal plant information. *ISA transactions*, v. 50, n. 1, p. 92-100, 2011.

VIEHWEIDER, Alexander; LAUSS, Georg; FELIX, Lehfuss. Stabilization of Power Hardware-in-the-Loop simulations of electric energy systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 19, n. 7, p. 1699-1708, 2011.

GLÓRIA, Leandro Siqueira et al. Desenvolvimento de Simulador Industrial para Processamento de Gás Natural. Disponível em: <<http://webmail.aedb.br/seget/artigos11/45814537.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2014.

GREENBERG, Harris R.; CRAMER, Joseph J. (Ed.). Risk assessment and risk management for the chemical process industry. John Wiley & Sons, 1991.

HILL, D. Connecting Process Simulators to the Control Room. *Chemical Engineering*, p. 34-37, Nov. 2010.

IEC 61508. Electric/Electronic/Programmable Electronic safety-related systems, parts 1–7. Technical report, International Electrotechnical Commission; 2010.

IEC 61511. Functional safety: safety instrumented systems for the process industry sector, parts 1–3. Geneva: International Electrotechnical Commission; 2003.

ISERMANN, Rolf. Perspectives of automatic control. *Control Engineering Practice*, v. 19, n. 12, p. 1399-1407, 2011.

ISERMANN, R.; SCHAFFNIT, J.; SINSEL, S. Hardware-in-the-loop simulation for the design and testing of engine-control systems. *Control Engineering Practice*, v. 7, n. 5, p. 643-653, 1999.

JIN, Yinhua; YAMASHITA, Yuh; NISHITANI, Hirokazu. Human modeling and simulation for plant operations. *Computers & chemical engineering*, v. 28, n. 10, p. 1967-1980, 2004.

JORDANA, Carla; SALAS, Edwin F.M.; FARIA, Helio M. Treinamento de Operadores e Engenheiros numa Planta de Gás Natural. INTECH, n. 88, p 40-46, 2006.

KOMULAINEN, Tiina M. et al. Experiences on dynamic simulation software in chemical engineering education. Education for Chemical Engineers, v. 7, n. 4, p. e153-e162, 2012.

LIPTÁK, Béla G. (Ed.). Process Control: Instrument Engineers' Handbook. Butterworth-Heinemann, 2013.

LOBÃO, Elídio de Carvalho; PORTO, Arthur José Vieira. Evolução das técnicas de simulação. Production, v. 9, n. 1, p. 13-21, 1999.

LOPES, Gustavo Henndel. Análise de Sensibilidade na Determinação do Nível de Integridade de Segurança. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LU, Hongzheng; YING, Zhiyuan; LIAO, T. Warren. Simulation of programmable logic controller. Computers & industrial engineering, v. 23, n. 1, p. 351-354, 1992.

MACHADO, José et al. Safe controllers design for industrial automation systems. Computers & Industrial Engineering, v. 60, n. 4, p. 635-653, 2011.

MANCA, Davide; BRAMBILLA, Sara; COLOMBO, Simone. Bridging between virtual reality and accident simulation for training of process-industry operators. Advances in engineering software, v. 55, p. 1-9, 2013.

MANDAL, R. et al. Application of Programmable Logic Controller for Gases Monitoring in Underground Coal Mines, 2013.

OGLE, Russell A. et al. The relationship between automation complexity and operator error. Journal of hazardous materials, v. 159, n. 1, p. 135-141, 2008.

ÖHMAN, Martin; JOHANSSON, Stefan; ÅRZÉN, Karl-Erik. Implementation aspects of the PLC standard IEC 1131-3. Control Engineering Practice, v. 6, n. 4, p. 547-555, 1998.

PALLADINO, A.; FIENGO, G.; LANZO, D. A portable hardware-in-the-loop (HIL) device for automotive diagnostic control systems. ISA transactions, v. 51, n. 1, p. 229-236, 2012.

PARK, Sang C.; PARK, Chang Mok; WANG, Gi-Nam. A PLC programming environment based on a virtual plant. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 39, n. 11-12, p. 1262-1270, 2008.

PINTO, F. da C. Sistemas de Automação e Controle. CETEC–Centro de Educação e Tecnologia Arivaldo Fontes, SENAI–Espírito Santo, 2005.

QUIRINO, Poliana et al. Simulação e análise paramétrica de uma unidade de gás natural. *Petro&Quimica*. Ed. 353, p. 59, 2013.

RAJAGOPAL, S. et al. Workstation based advanced operator training simulator for Consolidated Edison. *Power Systems, IEEE Transactions on*, v. 9, n. 4, p. 1980-1986, 1994.

RULLÁN, Agustín. Programmable logic controllers versus personal computers for process control. *Computers & industrial engineering*, v. 33, n. 1, p. 421-424, 1997.

REIS, Renata et al. Controle e Automação de uma Plataforma Offshore para Treinamento de Operadores (OTS). In: Congresso Rio Automação, 2015. Anais do Congresso Rio Automação 2015, Rio de Janeiro, 2015.

SANT'ANNA, Andréia Abrahão. Simulação de Processamento de Gás Natural em Plataforma Off-Shore. Monografia. Programa Escola de Química/Agência Nacional do Petróleo–Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria de Petróleo e Gás Natural. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de, p. 13-14, 2005.

SANTONI, Charles et al. A real-time interface simulator for operators training: a proposed architecture. In: Proceedings of the 2007 Summer Computer Simulation Conference. Society for Computer Simulation International, 2007. p. 460-467.

SHEWCHUK, C. F. The Benefits of using Dynamic Simulation and Training Systems for expanding Operator Knowledge and Understanding. Disponível em: <[http://iom.invensys.com/campaigns/Documents/WhitePaper\\_SE-SimSci\\_WorkforceEnablementTechInM3\\_07-13.pdf](http://iom.invensys.com/campaigns/Documents/WhitePaper_SE-SimSci_WorkforceEnablementTechInM3_07-13.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2014.

STAVRIANIDIS, Paris; BHIMAVARAPU, Kumar. Performance-based standards: safety instrumented functions and safety integrity levels. *Journal of hazardous materials*, v. 71, n. 1, p. 449-465, 2000.

VATH, Andreas et al. Dynamic modelling and hardware-in-the-loop testing of pemfc. *Journal of Power Sources*, v. 157, n. 2, p. 816-827, 2006.

WAI, Mr Li Yu; CHUEN, Mr Li Yat; WAH, Mr Tsang Siu. Design and Applied Technology (Secondary 4 ù 6).2009.

WEICK, Karl E. Reflections on enacted sensemaking in the Bhopal disaster. *Journal of Management Studies*, v. 47, n. 3, p. 537-550, 2010.

APÊNDICE A:  
Publicações

Ao longo do período de mestrado acadêmico foram gerados três artigos, dos quais dois foram desenvolvidos em disciplinas cursadas sobre temas que não fazem parte do conteúdo abordado nesta dissertação. Os artigos estão referenciados a seguir:

- R.L. REIS ; R.M. FONTES ; J.K.O. FERNANDES ; R.A. KALID ; K.V. PONTES. Optimization of a silver catalyzed formaldehyde plant using artificial neural networks. In: Hélder Rodrigues, José Herskovits, Christóvão Mota Soares, José Miranda Guedes, Aurelio Araujo, João Folgado, Filipa Moleiro, José Aguilar Madeira, José Aguilar Madeira. (Org.). Engineering Optimization 2014. 1ed.Londres: Taylor & Francis Group, 2015, v. IV, p. 18-.
- REIS, R.L.; FERNANDES, J.K.; ESQUERRE, K.P.S.O.R.; KALID, R.A. Application of SPC to reduce the calibration cost in laboratories. In: ICPR Peru 2014, Universidad Privada Norbert Wiener S.A., Peru, 2014.
- REIS, Renata et al. Controle e Automação de uma Plataforma Offshore para Treinamento de Operadores (OTS). In: Congresso Rio Automação, 2015. Anais do Congresso Rio Automação 2015, Rio de Janeiro, 2015.

### APÊNDICE B:

Lógicas programadas no CLP Rockwell RsLogix 5000 em Diagrama Ladder.

Figura B. 1 - Lógica do shutdown de emergência da planta.

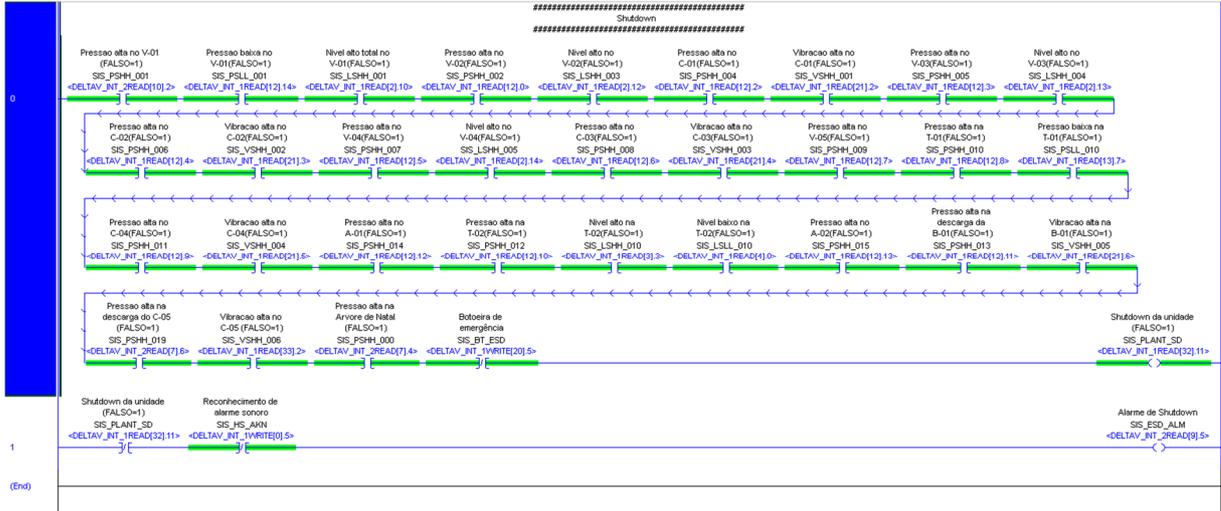
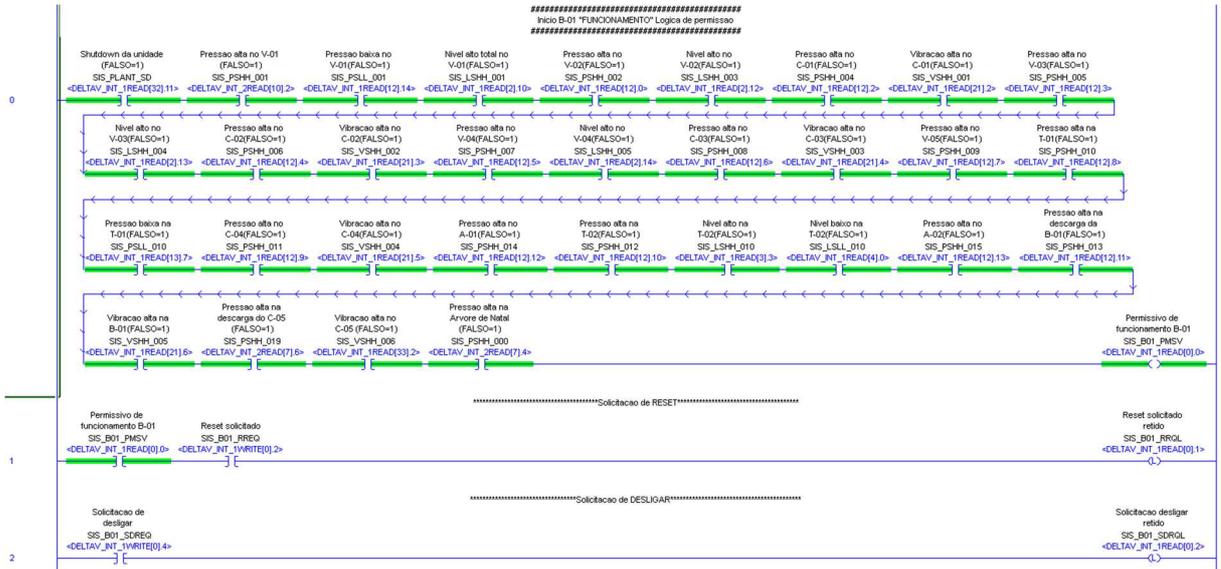


Figura B. 2 - Lógica das bombas e compressores.



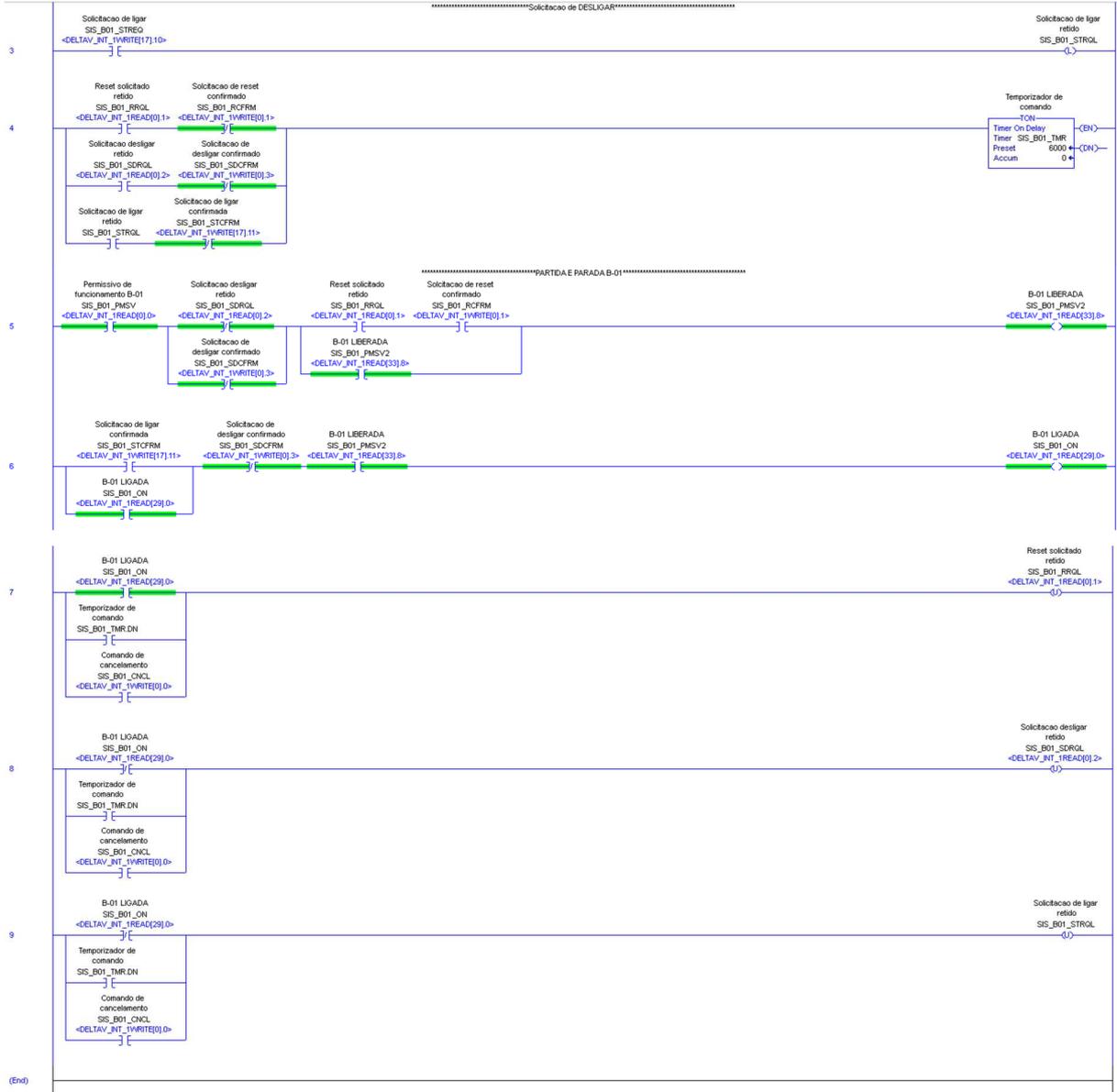
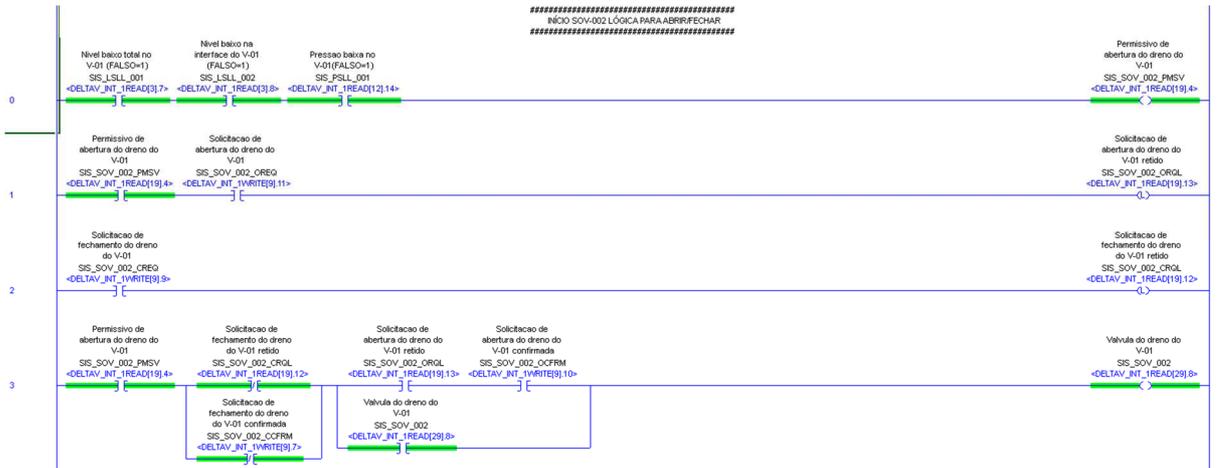


Figura B. 3 - Lógica das SDVs.



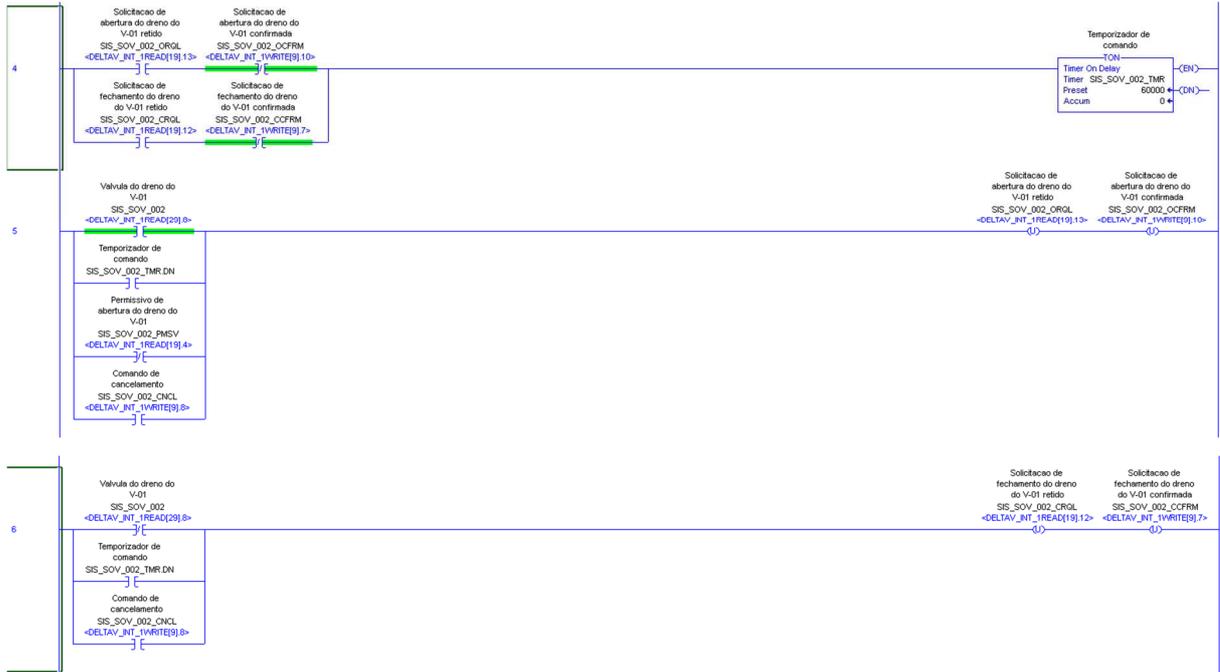


Figura B. 4 - Lógica de alarmes de HH e LL.

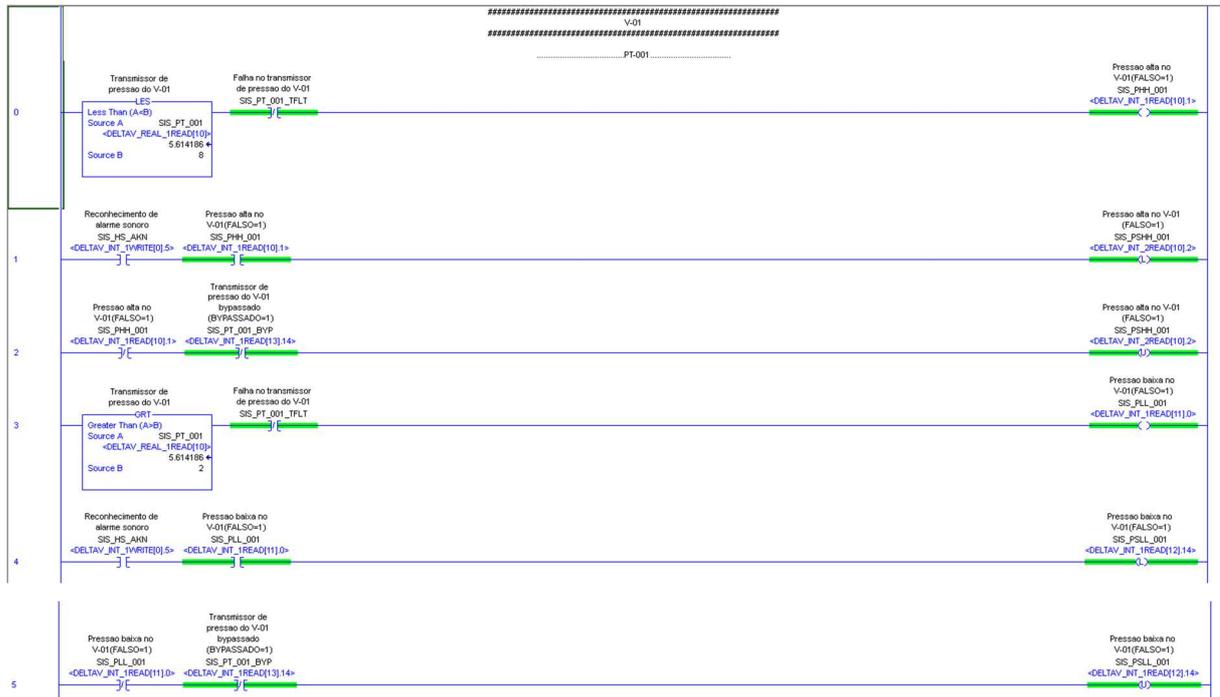


Figura B. 5 - Lógica de by-pass dos transmissores.

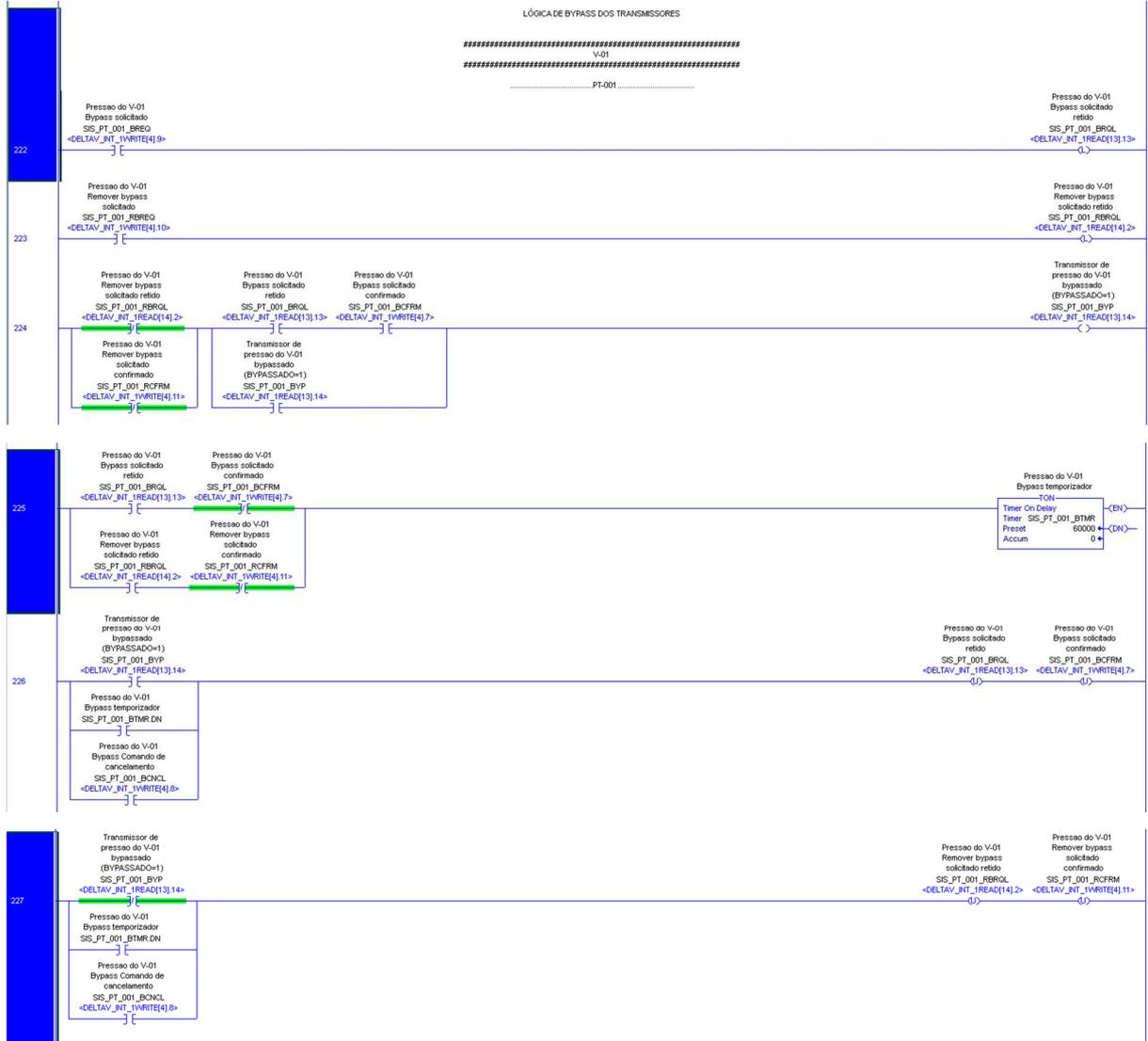
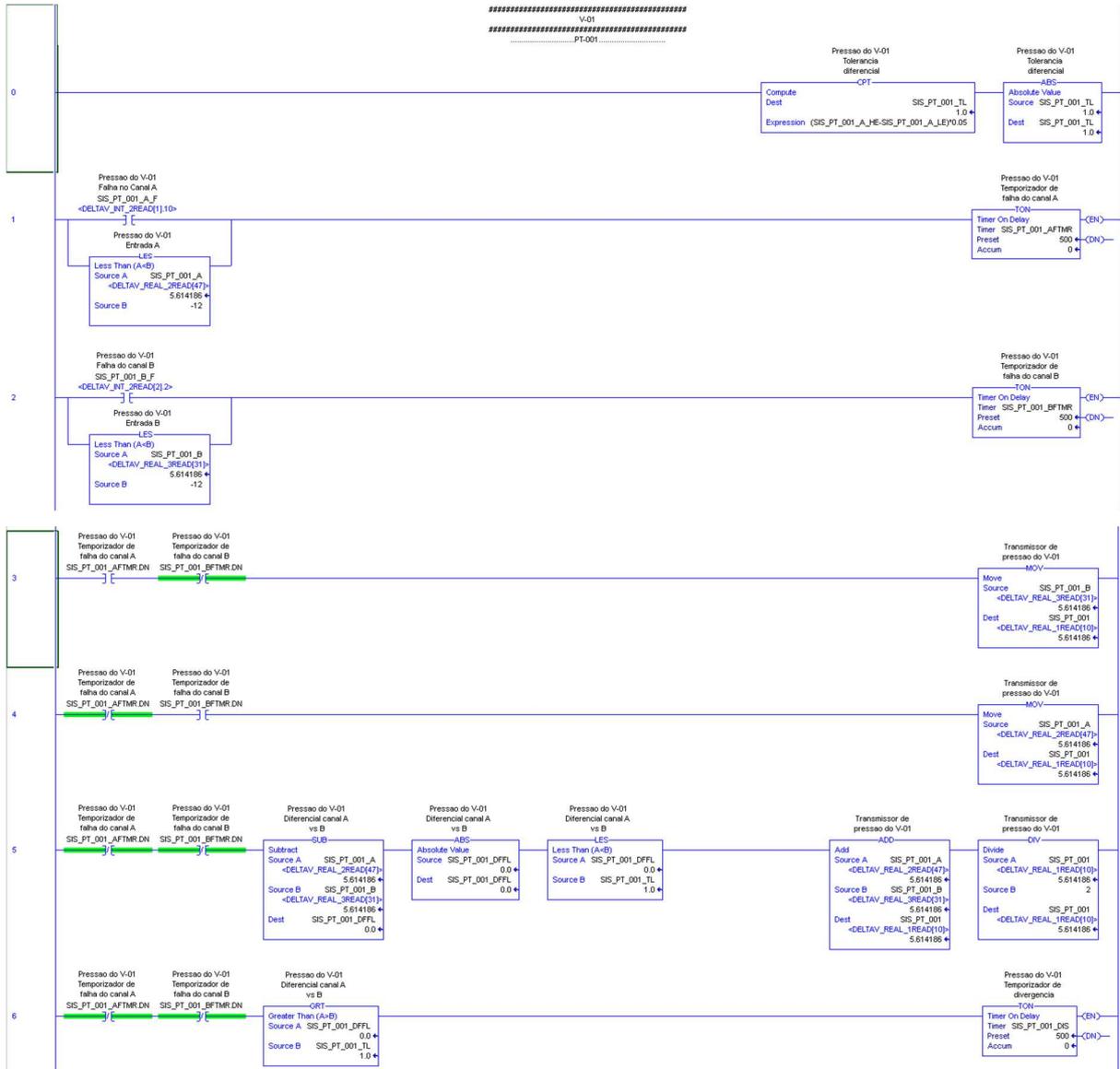
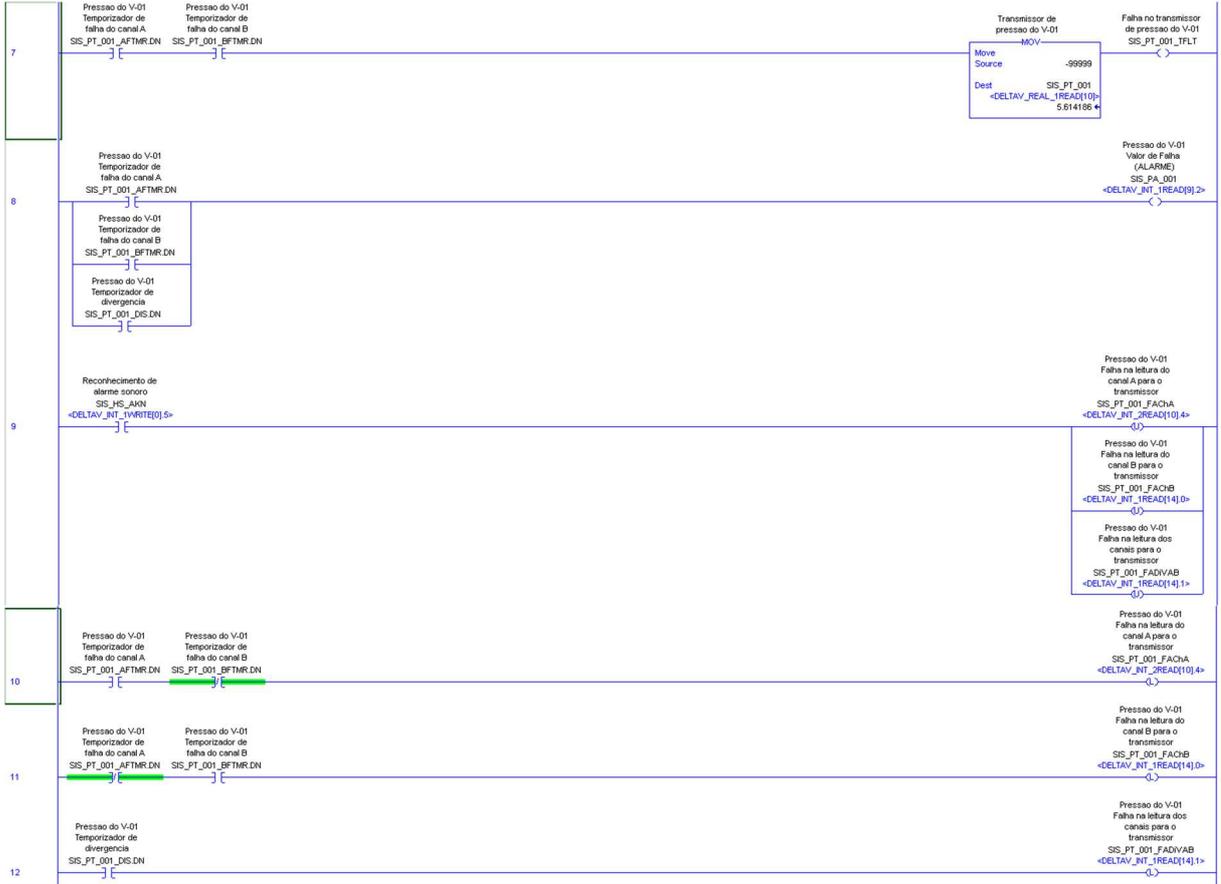
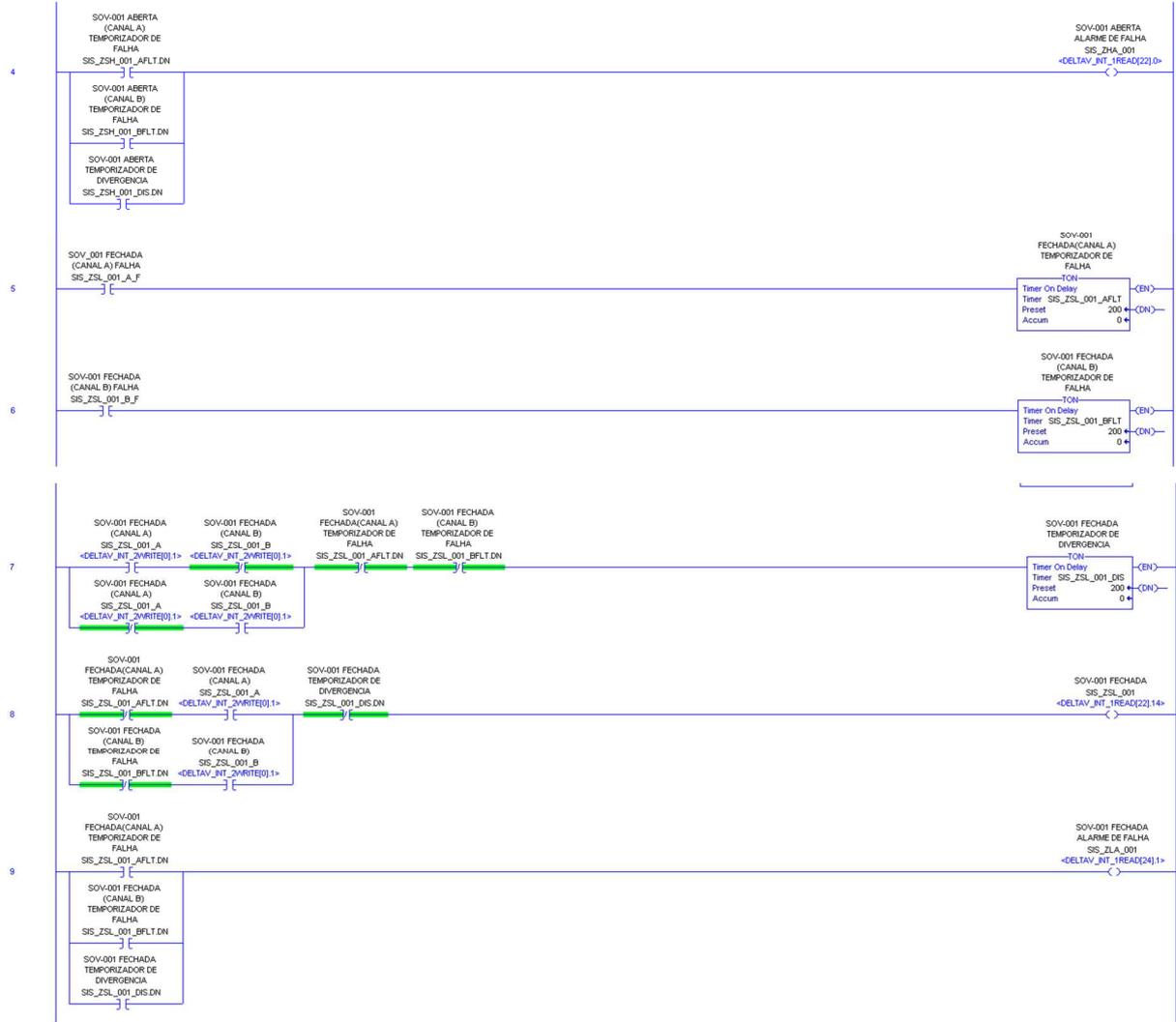


Figura B. 6 - Lógica de análise de falha dos canais dos transmissores.







## APÊNDICE C: Especificação funcional do sistema.

### C.1 Funções

As funções que serão implementadas no Sistema Supervisório, estão listadas abaixo:

- Apresentação de valores de variáveis de processo em tempo real;
- Geração de gráficos de tendências de variáveis de processo;
- Anunciação de alarme através de:
  - Emissão de mensagens
  - Mudança de cor/forma do objeto
- Reconhecimento de alarme;
- Sinalização de estado operacional de equipamentos;
- Acionamento e desligamento de equipamentos;
- Registro de eventos;
- Registro histórico de variáveis de processo e de alarmes.

### C.2 Telas Gráficas

O sistema está estruturado através de uma série de telas e janelas. Uma tela ocupa todo o espaço disponível para exibição no monitor, enquanto que uma janela ocupa apenas uma porção deste espaço, sendo exibida sobreposta à tela. Telas e janelas são compostas por objetos, que representam os diversos dados disponibilizados pelo sistema.

As telas do modo de execução possuirão uma disposição padrão e uns detalhes comuns. As características comuns são:

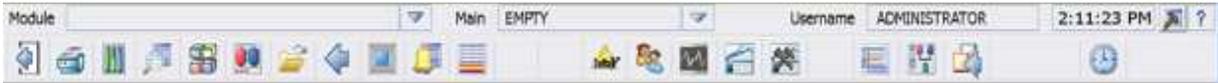
As funções dos botões de navegação mostrados na Figura C. 1 são, respectivamente: sequência de navegação (próxima/anterior em uma sequência de telas de mesma categoria), retornar a janela anterior, fechar a janela aberta, abrir diretório que contém todas as telas do sistema, permitindo sua abertura (disponível somente aos administradores do sistema).

Figura C. 1 – Botões de Navegação.



Fonte: DeltaV

Figura C. 2 – Barra de Ferramentas .



Fonte: DeltaV

Figura C. 3 – Barra de Título.



Fonte: DeltaV

Figura C. 4 – Barra de Alarmes.



Fonte: DeltaV

### C.3 Visão Geral da Interface Homem-Máquina (IHM)

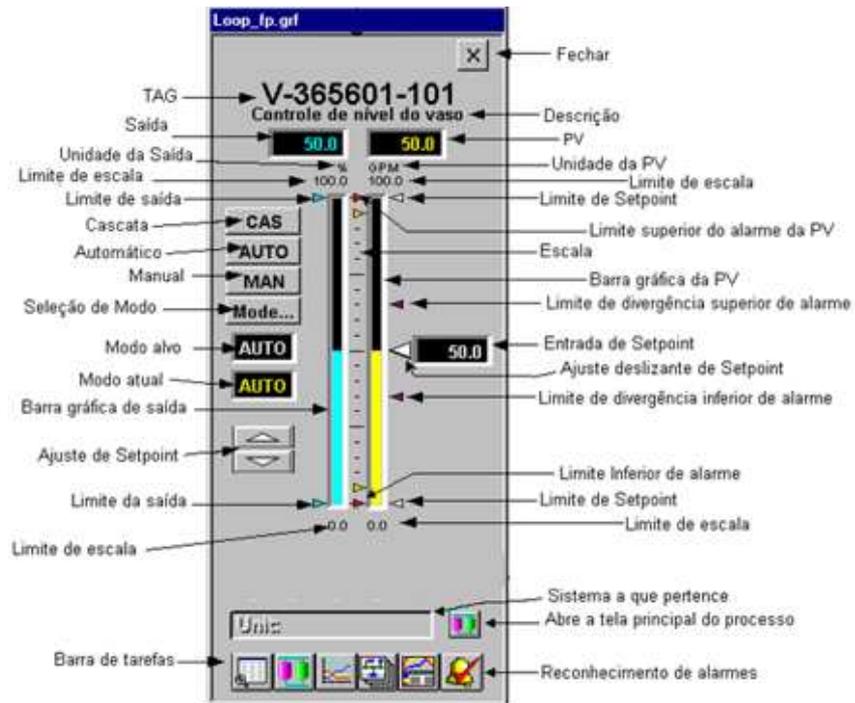
As características que deverão ser utilizadas como padrão são:

- Os TAGs dos equipamentos deverão estar inseridos dentro dos mesmos, na cor preta, ou abaixo deles na cor branca. Os TAGs de instrumentos deverão estar acima ou abaixo dos mesmos na cor branca.
- Nas ilustrações de um controle, deverá existir uma linha pontilhada conectando a variável manipulada e a controlada;
- Bombas, válvulas e compressores deverão seguir o padrão de cores:

ESTADO	COR
Desligado/Parado	Vermelha
Ligado/Operando	Verde
Falha	Amarela

De maneira geral, o *faceplate* poderá mostrar as informações mostradas na Figura C. 5.

Figura C. 5 – Funções do Faceplate.

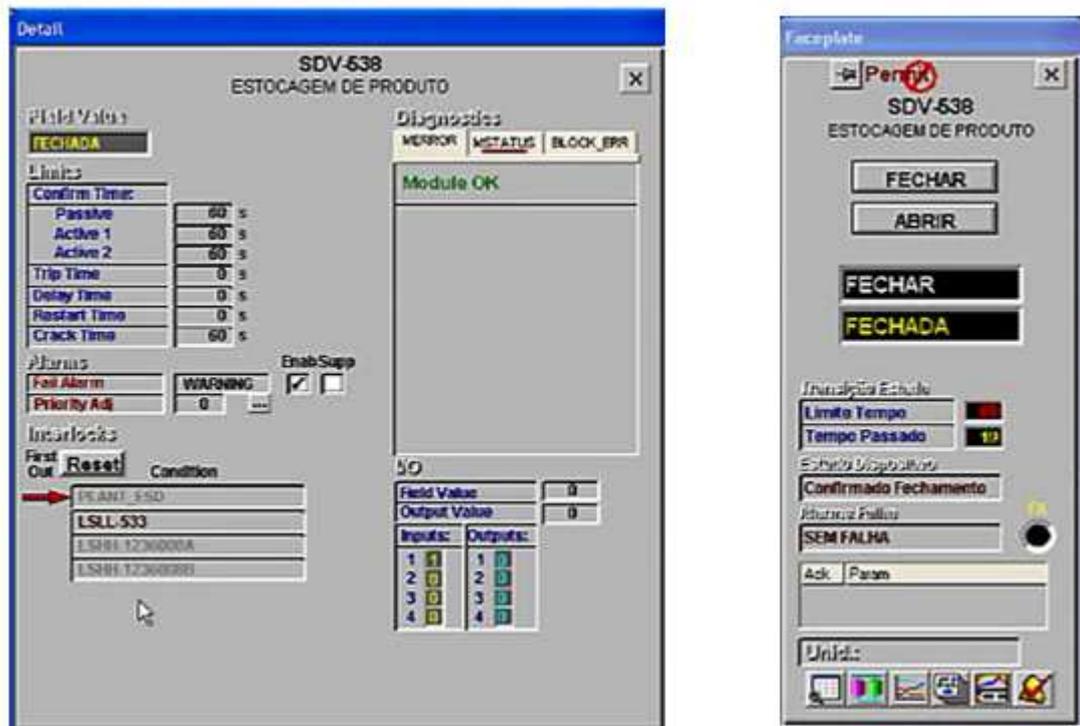


Fonte: DeltaV

Os *faceplates* para válvulas terão os botões de “ABRIR” e “FECHAR”.

Como pode ser verificado na Figura C. 6, existe um símbolo mostra que existem condições impedindo que a válvula seja aberta. Estas condições são mostradas no quadro *Condition* do *faceplate* de detalhe. Caso a válvula esteja operando normalmente, e algum intertravamento atue de maneira a mudar seu status, a seta vermelha irá indicar a primeira condição causadora da falha. Isso é útil em emergências de planta, para que o operador saiba rapidamente o motivo da falha e possa atuar de modo a revertê-la.

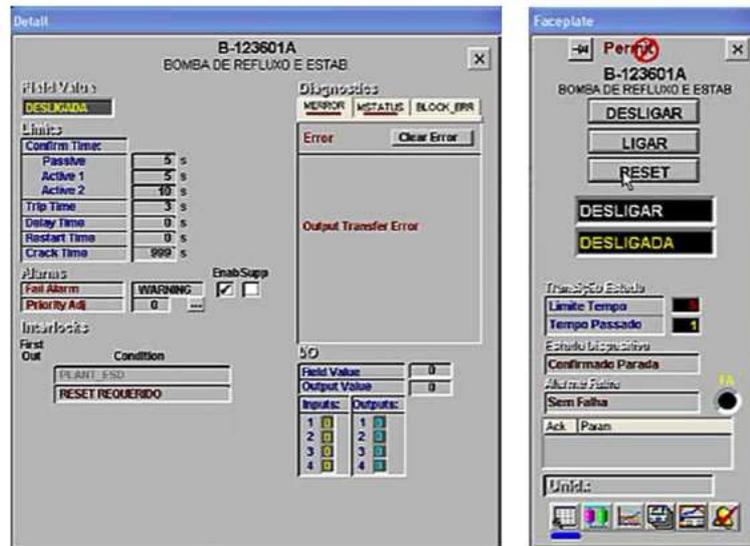
Figura C. 6 – Faceplate das SDV's.



Fonte: DeltaV

Os *faceplates* para bombas e demais equipamentos possuirão os comandos Liga, Reset e Desliga e estado do motor ou equipamento (ligado ou desligado), conforme Figura C. 7. O Reset serve para apagar os alarmes e avisos que provocaram o desligamento do equipamento e precisa ser dado antes que ele seja ligado novamente. Quando um comando for dado, uma janela de confirmação irá surgir na tela, com as opções de cancelar o comando ou confirmá-lo.

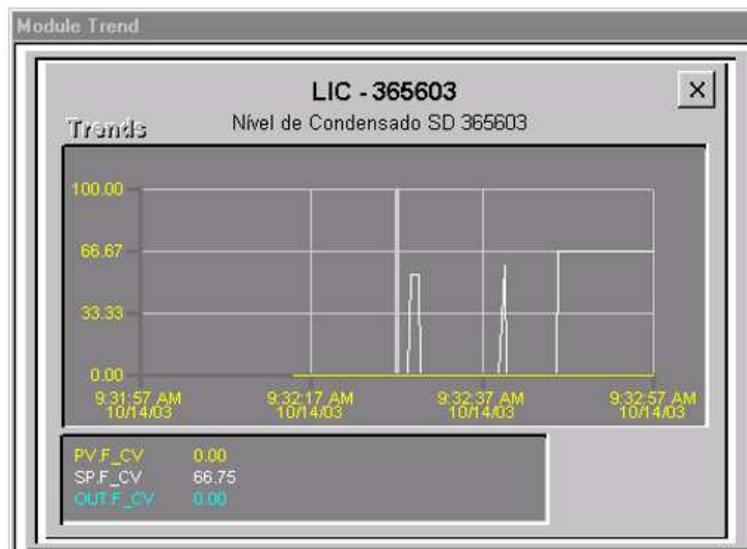
Figura C. 7 – Faceplate dos Equipamentos Rotativos.



Fonte: DeltaV

As janelas de *trend* mostrarão a tendência das variáveis do controlador, conforme Figura C. 8.

Figura C. 8 – Janela de *trend*.



Fonte: DeltaV