

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

LUIZ GUSTAVO DE ASSIS

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM UM REATOR
INDUSTRIAL QUÍMICO**

Taubaté – SP

2021

LUIZ GUSTAVO DE ASSIS

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM UM REATOR
INDUSTRIAL QUÍMICO**

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Especialização pelo Curso de Pós-graduação em Manutenção Industrial do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. José Rubens de Camargo

Taubaté – SP

2021

Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi
Universidade de Taubaté - Unitau

A848p	<p data-bbox="414 1048 1367 1198">Assis, Luiz Gustavo de Proposta de implementação de um sistema de controle e automação em um reator industrial químico / Luiz Gustavo de Assis. -- 2021. 55 f. : il.</p> <p data-bbox="414 1220 1367 1288">Monografia (especialização) – Universidade de Taubaté, Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação, Taubaté, 2021.</p> <p data-bbox="414 1288 1367 1355">Orientação: Prof. Dr. José Rubens Camargo, Departamento de Pesquisa e Pós-graduação.</p> <p data-bbox="414 1411 1367 1556">1. Controle e automação. 2. Reator industrial. 3. Confiabilidade de processo. 4. Redução de custos. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Pesquisa e Pós-graduação. Pós-graduação em Manutenção Industrial. II. Título.</p> <p data-bbox="1197 1579 1367 1632">CDD – 629.8</p>
-------	--

LUIZ GUSTAVO DE ASSIS
PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO EM UM REATOR INDUSTRIAL QUÍMICO

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Especialização pelo Curso de Pós-graduação em Manutenção Industrial do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. José Rubens de Camargo

Data: 30/06/2021

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. JOSÉ RUBENS DE CAMARGO – Universidade de Taubaté

Assinatura:



Prof. Dr. ROQUE ANTONIO DE MOURA – Universidade de Taubaté

Assinatura:



Prof. Mestre Paulo de Tarso de Moraes Lobo – Universidade de Taubaté

Assinatura:



DEDICATÓRIA

Ao meu pai e minha mãe por ter me ensinado a trilhar no caminho da verdade e do amor ao próximo, sempre com humildade e honestidade.

À minha esposa por ter me apoiado em todos os momentos de dificuldade, sempre cuidando do nosso filho com todo amor e atenção.

Aos amigos e colegas pela parceria consolidada e constante trocas de conhecimentos e aprendizado.

Aos professores por tudo que proporcionaram a mim e meus colegas de classe nesta trajetória, sempre nos dando o seu melhor e nos ensinando com seus conhecimentos a fazer o melhor que podemos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre está comigo em todos os lugares e permitir que meus sonhos sejam alcançados através do meu esforço, sempre respeitando o próximo e estendendo a mãos a quem precisa de ajuda.

Ao amigo e professor Dr. José Rubens de Camargo pela confiança e respeito que dedicou a mim e meus colegas de classe, pela sua excelente ajuda e precisão, sempre me orientando em todas as etapas do desenvolvimento desta monografia.

À Universidade de Taubaté, aos seus professores e aos seus funcionários que sempre facilitaram nossas vidas nos proporcionando todos os conhecimentos e recursos para a realização desta monografia.

Aos meus amigos da pós-graduação pela parceria, amizade e convivência.

EPÍGRAFE

“Tornou-se chocantemente óbvio que a nossa tecnologia excedeu a nossa humanidade.”

Albert Einstein

RESUMO

No cenário industrial atual, algumas empresas do ramo químico ainda têm trabalhado com reatores industriais de forma convencional para fazer o processamento de seus produtos, sendo os operadores de processos responsáveis por fazer a abertura e fechamento de válvulas, atuadores e registros em campo de forma manual, correndo risco de vida, perda de matéria prima e produtos em grande quantidade, podendo ainda ocorrer atrasos no atendimento dos prazos de seus clientes. O objetivo desse trabalho é propor a modernização de um reator convencional para reator automatizado, a fim de ter um controle de processo mais eficiente com confiabilidade, qualidade, redução do risco de acidentes de operadores e processos, validando a sua implantação em todo sistema produtivo da empresa. A metodologia aplicada será a elaboração e criação da tela do reator químico e lógicas de intertravamentos no sistema digital de controle distribuído (SDCD) com toda parte de instrumentação animada. O operador da sala de controle poderá atuar na abertura e fechamento das válvulas de controle do processo e terá o feedback de aberto por meio da animação verde e fechado por meio da animação vermelha na tela operacional, sem ter a necessidade de manobras em campos como operador de processo. Terá também a indicação de temperatura, vazão, potencial hidrogeniônico e pressão na tela do supervisor, o que aumenta a confiabilidade do processo químico. Será utilizado para criação e elaboração da tela e lógicas de intertravamentos o *software* Centum-vp, da fabricante Yokogawa América do Sul. Conclui-se que, após as implementações e modernização será possível garantir a confiabilidade e segurança do processo devido a automação, não tendo mais a necessidade e o risco do operador em ter que fazer alinhamentos e manobras em campo, e com isso diminuir o risco de acidente de processos do reator químico industrial. Com a implantação desta proposta a empresa se adequará as tecnologias de automação e controle ganhando confiabilidade, qualidade nos processos e qualidade de vida dos funcionários, e passará a ser mais competitiva no mercado.

Palavras-chave: Controle e Automação. Reator Industrial. Sistema Automatizado. Confiabilidade de Processo. Reduzir Custos.

ABSTRACT

In the current industrial scenario, some companies in the chemical industry have even worked with industrial reactors in a conventional way to process their products, with process operators responsible for manually opening and closing valves, actuators and records in the field. , at risk of life, loss of raw materials and products in large quantities, and there may also be delays in meeting the deadlines of its customers. The objective of this work is to propose the modernization of a conventional reactor to an automated reactor, in order to have a more efficient process control with reliability, quality, reduction of the risk of accidents of operators and processes, validating its implantation in the entire production system of company. The applied methodology will be the elaboration and creation of the chemical reactor screen and interlocking logic in the digital distributed control system (SDCD) with all the animated instrumentation. The operator of the control room will be able to act in the opening and closing of the process control valves and will have the feedback of open through the green animation and closed through the red animation on the operational screen, without the need for maneuvers in fields as an operator. of process. It will also have an indication of temperature, flow rate, hydrogen potential and pressure on the supervisory screen, which increases the reliability of the chemical process. The CENTUM-VP software, produced by Yokogawa South America manufacturer, will be used for the creation and elaboration of the screen and interlocking logic. It is concluded that, after the implementations and modernization, it will be possible to guarantee the reliability and safety of the process due to automation, not having plus the need and the risk of the operator to have to make alignments and maneuvers in the field, and thereby reduce the risk of accidents in industrial chemical reactor processes. With the implementation of this proposal, the company will adapt itself to automation and control technologies, gaining reliability, quality in processes and quality of life for employees, and becomes more competitive in the global chemical process market.

Keywords: Control and Automation. Industrial Reactor. Automated System. Process Reliability. Reduce Costs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de um reator CSTR.....	19
Figura 2 - Pirâmide de automação	20
Figura 3 - Transmissor de nível tipo dpcell.....	24
Figura 4 - Transmissor de nível tipo ultrassônico.....	25
Figura 5 - Transmissor de pressão.....	26
Figura 6 - Válvula on off com monitor de posição.....	27
Figura 7 - Sensor e transmissor de temperatura PT100 á 3 fios	28
Figura 8 - Transmissor de potencial hidrogeniônico.....	29
Figura 9 - Modelo do queijo suíço, como a trajetoria de um acidente ultrapassa as defesas, barreiras e salvaguardas.....	31
Figura 10 - Modelo do queijo suíço representando as camadas preventivas mitigadoras.....	32
Figura 11 - Modelo da máscara de barreiras.....	36
Figura 12 - Modelo de tela operacional.....	45
Figura 13 - Exemplo de lógicas de acionamento e intertravamento.....	46
Figura 14 - Exemplo de lógicas de acionamento e intertravamento.....	46
Figura 15 - Exemplo de lógicas de acionamento e intertravamento.....	47
Figura 16 - Exemplo de lógicas de acionamento e intertravamento.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cenário acidental de uma análise de perigo de processo.....	36
Tabela 2 – Sugestão de tag's para proposta de implementação de controle e automação do reator químico industrial.....	37
Tabela 3 – Levantamento de materiais.....	42
Tabela 4 – Estimativa de custos da proposta de implementação.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS

AIT – Transmissor e Indicador Analítico;
AC – Alarme Crítico;
AC – Controlador Analítico;
APP – Análise Preliminar de Perigo;
BE – Brigada de Emergência;
CSTR – Reator de Tanque Agitado Contínuo;
DCS - Sistema de Controle Distribuído;
GE – Especificação Geral;
HV – Válvula de Controle;
ISA – Instrumento Sociedade da América;
IO – Intervenção Operacional;
ITO – Instrução Técnica Operacional.
LC – Controlador de Nível;
LI – Indicador de Nível;
mA – Miliampère;
mV – Milivolt;
PAE – Plano de Atendimento a Emergência.
PC – Controlador de Pressão;
PGC – Plano de Gestão de Crise
PSM – Gestão de Segurança de Processo;
pH - Potencial Hidrogeniônico;
PSV - Válvula de Segurança de Pressão;
PSE – Elemento de Segurança de Pressão;
PIT – Transmissor e Indicador de Pressão;
POL – Procedimento Operacional Local.
PRV – Válvula de Alívio de Pressão;
PF – Proteções Físicas;
PGC – Plano de Gestão de Crise;
PFPPC – Proteção Física Pós –Perda de Contenção;
SBC – Sistema Básico de Controle;

SBCP - Sistema Básico de Controle de Processo;

SBCO – Sistema Básico de Controle Operacional;

SIS – Sistema Instrumentado de Segurança;

SP - Set Point;

TIT – Transmissor e Indicador de Temperatura;

TC – Controlador de Temperatura;

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

°C – Graus Celsius

Kgf/cm² – Quilograma força por centímetro ao quadrado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Considerações iniciais	16
1.2 Objetivos Gerais	16
1.3 Objetivos Específicos.....	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 Considerações iniciais	17
2.2 Reatores industriais químicos	18
2.3 Classes dos reatores industriais químicos.....	18
2.4 Reatores industriais químicos (CSTR).....	19
2.5 Automação industrial.....	19
2.5.1 Malha de controle	20
2.6 Centum VP.....	21
2.7 Instrumentação industrial.....	22
2.7.1 Classes de instrumentos.....	22
2.7.2 Transmissor de nível.....	24
2.7.3 Transmissor de pressão.....	26
2.7.4 Válvula on off com monitor de posição	27
2.7.5 Sensor e transmissor de temperatura PT100 á 3 fios	28
2.7.6 Transmissor de potencial hidrogeniônico.....	29
3. METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO	30
3.1 Definições.....	30
3.2 Metodologia de identificação de barreiras baseado na teoria do queijo suíço.....	31
3.3 As sete barreiras de proteção	33
3.3.1 Primeira barreira é o Sistema Básico de Controle (SBC)	33
3.3.2 Segunda barreira são os Alarmes Críticos (AC) e a Intervenção Operacional (IO).....	33
3.3.3 Terceira barreira é o Sistema Instrumentado de Segurança (SIS)	34
3.3.4 Quarta barreira são as Proteções Físicas (PF)	34
3.3.5 Quinta barreira é a Proteção Física Pós-Perda de Contenção (PFPPC).....	35
3.3.6 Sexta barreira é o Plano de Atendimento a Emergência (PAE).....	35
3.3.7 Sétima barreira é o Plano de Gestão de Crises (PGC)	35
3.4 Máscaras de barreiras.....	36
3.5 Método de aplicação.....	37
3.5.1 Primeira barreira	37

3.5.2 Segunda barreira	38
3.5.3 Terceira barreira.....	38
3.5.4 Quarta barreira.....	39
3.5.5 Quinta barreira	39
3.5.6 Sexta barreira	39
3.5.7 Sétima barreira.....	39
3.5.8 Elaboração de Procedimento Operacional	40
3.5.9 Comissionamento de Partida	40
3.5.10 Levantamento de materiais	42
3.6 Estimativa de custos.....	43
4. RESULTADOS DA PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM UM REATOR INDUSTRIAL QUÍMICO.....	44
4.1 Criação de tela operacional de um reator químico industrial	44
4.2 Elaboração de lógicas de acionamentos e intertravamento para controle do reator químico industrial	45
4.3 Reduzir tempo de ciclo de cada batelada de processo	47
4.4 Eliminar risco de acidentes com operadores com uso de automação	48
4.5 Aumentar a confiabilidade e qualidade no processo.....	49
4.6 Instalação de instrumentação moderna	50
4.7 Qualificação de operadores	51
4.8 Aumentar a competitividade da empresa para novos negócios.....	52
4.9 Diminuir o desperdício e reduzir custos.....	52
5. PRAZO PARA IMPLEMENTAÇÃO	53
6. CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A proposta de implementação de tecnologias em um reator industrial químico nasceu da necessidade em que se observa o avanço tecnológico em grande parte das indústrias em nosso país.

Todo o conteúdo desta proposta é baseado em pesquisas científicas, revistas, livros e tem como principal objetivo melhorar o processo produtivo das empresas trazendo confiabilidade, qualidade, redução de custos e qualidade de vida dos funcionários por meio de tecnologias de automação.

Muitas empresas ainda não tiveram a oportunidade de automatizar seus processos produtivos de seus reatores devido não ter sido apresentado de forma clara e objetiva o investimento necessário e o tempo de retorno.

1.2 Objetivos Gerais

Pesquisar as atuais tecnologias de instrumentação industrial disponíveis no mercado para automatização e automação de um reator químico visando confiabilidade, qualidade, redução de tempo de processo e redução de custos.

1.3 Objetivos Específicos

- 1). Reduzir tempo de ciclo de cada batelada de processo;
- 2). Eliminar risco de acidentes com operadores com uso da automação;
- 3). Aumentar a confiabilidade e qualidade no processo;
- 4). Criar tela de animação para controle a distância;
- 5). Elaborar lógicas de intertravamentos para segurança do processo;
- 6). Instalar instrumentação moderna;
- 7). Qualificar operador;
- 8). Aumentar a competitividade da empresa para novos negócios;

9). Diminuir o desperdício e reduzir custos;

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Considerações iniciais

O conceito de automação muitas vezes é confundido com o de automatização. Automatização está relacionado à realização de movimentos automáticos e repetitivos, podendo ser traduzido em mecanização. Entretanto, automação está relacionada ao uso de técnicas de construção de sistemas capazes de atuar sobre o processo com uma eficiência otimizada pelo uso de informações recebidas do meio (ROSARIO, 2009).

A partir do avanço tecnológico nas indústrias brasileiras por meio de automação industrial percebeu-se a grande necessidade das empresas em adequarem seus processos em reatores industriais.

Com o crescente desenvolvimento da tecnologia dentro de ambientes produtivos, percebe-se que os processos de automação industrial estão se tornando pontos fortes de discussões de investimento perante os executivos e tomadores de decisão nas indústrias de uma forma geral (NAVARRO, 2012).

A crescente acessibilidade às tecnologias, aliada à sua adequada utilização, faz com que o processo de gestão tecnológica proporcione o desenvolvimento correto, garantindo alta qualidade aos produtos e reduzindo os riscos ergonômicos das tarefas com mão de obra humana. Os avanços da microeletrônica na área industrial podem ser percebidos pelo desenvolvimento de sistemas de controle de máquinas cada vez mais sofisticados, combinando componentes mecânicos, pneumáticos, eletroeletrônicos e ópticos (PEREIRA; SPRITZER, 2007).

Para ser competitiva, a manufatura, mais que qualquer outra atividade ou setor da economia, deve continuamente adaptar-se a mudanças existentes no mercado (DE PAULA; SANTOS, 2008) e investir incessantemente em conceitos, técnicas e ferramentas que visam a melhoria nos seus sistemas produtivos (DA CAS *et. al.*, 2015).

A automação passa então a ser vista como uma oportunidade para as empresas competirem em seus segmentos, fortalecendo sua infraestrutura, investindo na qualificação e modernização de suas instalações, potencializando ganhos em eficiência e produtividade que podem ser repassados aos clientes (MILAN; PRETTO; BASSO, 2007).

A instrumentação é um dos recursos mais importantes da automação, pois proporciona os meios para a medição das condições do processo e, para a execução de grande parte dos atuadores, além disso, promove os meios de interação com o processo que está sendo controlado e, os processos que estão sendo executados, promovendo o processamento dos sinais iniciais e finais trocados (SOUZA, 2006).

Com uso desses conceitos, acredita-se que a instrumentação é extremamente importante e fundamental para a transformação de um processo manual em um processo automatizado em conjunto com a pirâmide de automação.

2.2 Reatores industriais químicos

O reator industrial químico é a parte fundamental em uma empresa e é responsável pela fabricação de vários tipos de processos.

O reator químico é o lugar onde se formam os produtos a partir da matéria prima, e é o coração da fábrica química. A escolha apropriada do reator pode influenciar na qualidade do produto e, portanto, a economia de todo o processo. O tamanho do reator geralmente é pequeno em relação ao tamanho total de uma planta, uma vez que o condicionamento do material de partida, o isolamento e a purificação do produto geralmente têm uma demanda de espaço muito grande (ISENMANN, 2018).

2.3 Classes dos reatores industriais químicos

Devido à grande variedade de reações químicas e suas complexas relações, os tipos e modos de operação dos reatores são geralmente muito diferentes. Uma classificação fixa de reatores é, portanto, apenas condicionalmente possível. Comumente é feita uma distinção entre reatores descontínuos (bateladas); reatores contínuos (a batelada perfeitamente agitada e o reator tubular); modos de operação mistos (uma cascata de bateladas, por exemplo) (ISENMANN, 2018).

O reator em batelada é comumente utilizado para operações em pequenas escalas, para testar novos processos que não foram completamente desenvolvidos, para manufatura de produtos com alto valor agregado e para processos que possuem dificuldades de serem feitos em operações contínuas (FOGLER, 2006, p.12).

2.4 Reatores industriais químicos (CSTR)

Os reatores industriais químicos - CSTR (do inglês, *continuous-stirred tank reactor* – reator de mistura contínuo), também chamado de *backmix reactor*, é um tipo de reator muito utilizado em processos industriais, conforme apresentado na Figura 1. Nele, o fluxo de efluentes se dá de forma contínua: à medida que os reagentes são inseridos no tanque, a reação ocorre e os produtos vão sendo retirados. Ele é projetado de forma que parâmetros como a temperatura, concentração e taxa de reação não sofram variações em qualquer ponto do reservatório. Ou seja, todos os itens citados acima são constantes ao longo de todo o reator, inclusive no seu ponto de saída. Isso possibilita considerar, na modelagem da corrente de saída, que a temperatura e a concentração na mesma são iguais às aquelas dentro do reator (FOGLER, 1999).

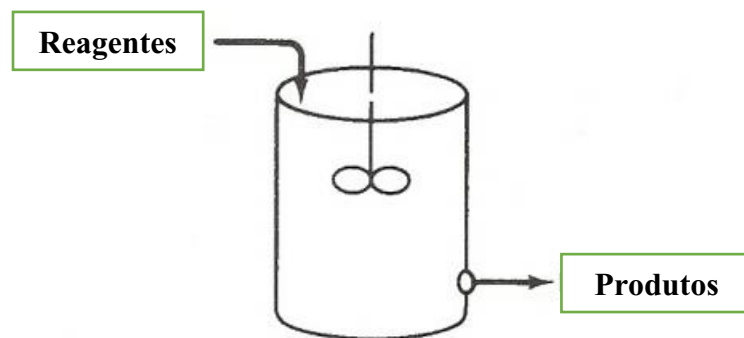


Figura 1 - Esquema de um reator CSTR

Fonte: FOGLER, 1999.

2.5 Automação industrial

Automação industrial pode ser definida como um conjunto de técnicas destinadas a tornar automáticos vários processos numa indústria (AFFONSO, 2003).

A automação pode ser definida como um desenvolvimento posterior à mecanização onde um sistema em que os processos operacionais em fábricas são controlados e executados por meio de dispositivos mecânicos ou eletrônicos, substituindo o trabalho humano (HOUAISS, 2004).

Segundo Pazos (2002) a automação industrial refere-se à implantação de técnicas, softwares e/ou equipamentos específicos numa máquina ou processo industrial, objetivando a

ampliação e sua eficiência, a maximização da produção com o menor consumo de energia, matérias primas, emissão de resíduos, resultando em condições de segurança melhores referentes a esse processo, ou até mesmo, a redução do esforço ou a atividades humanas nesse processo ou máquina.

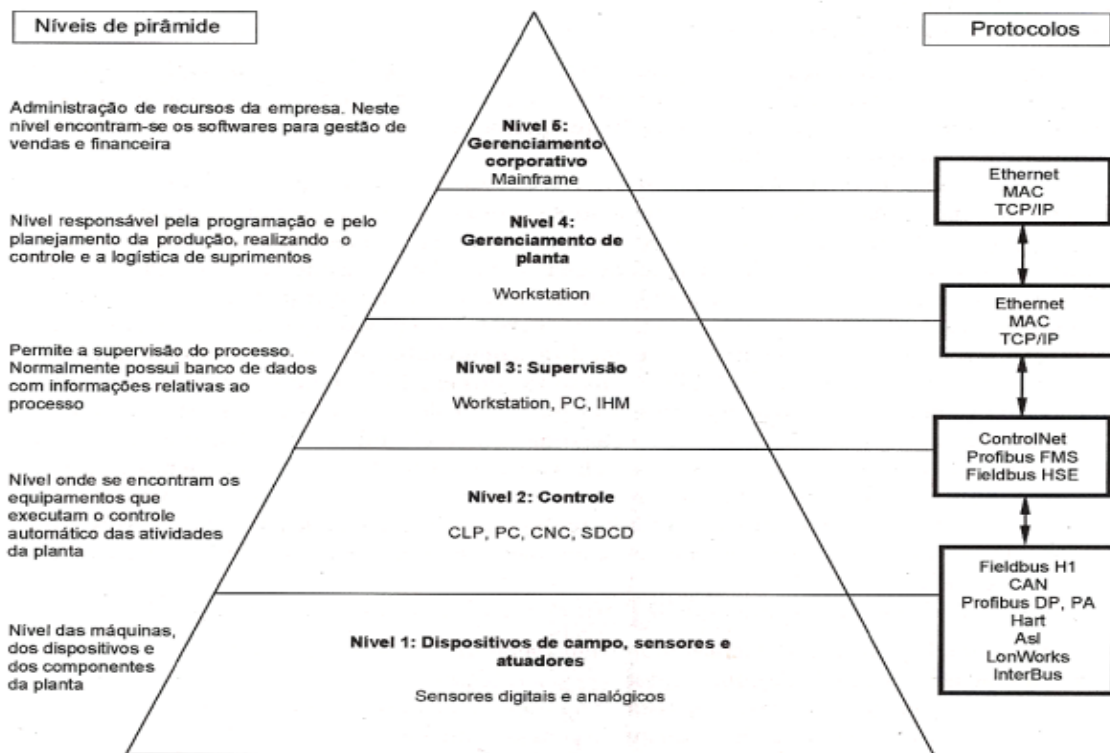


FIGURA 2 – Pirâmide da automação
Fonte: MORAES; CASTRUCCI, 2007, p. 13.

2.5.1 Malha de controle

De acordo com Smith (1997, pg. 3), há três elementos básicos que estão presentes em uma malha de controle.

1. Elementos primários e secundários;

Os elementos primários em uma malha de controle são os sensores, conectados diretamente ao processo. Os ditos elementos secundários são os transmissores. A forma mais comum de transmissão é por meio de uma escala de valores, por exemplo um sinal de corrente entre 4 e 20mA, ou um sinal de tensão de 0 a 10V, ou ainda um sinal do tipo pneumático em

uma escala definida por pressão. Haverá assim uma relação matemática entre o valor real da variável que se quer medir (fluxo, pressão, nível e temperatura, entre outros) e o sinal transmitido.

2. Controlador

O controlador faz o papel de centralizador. Ele deve receber o sinal da referência (em inglês *Set Point* - SP) e dos elementos primários que dão os valores das variáveis que se quer controlar. O que o controlador faz é procurar manter o valor das variáveis controladas iguais à referência e para isso ele envia sinais aos elementos finais de controle.

3. Elementos finais de controle

Os elementos finais de controle são aqueles que recebem o sinal do controlador e realizam alguma atuação no sistema, de modo a alterar direta ou indiretamente o valor das variáveis controladas. Um dos elementos finais mais comuns na indústria são as válvulas de controle, mas também há as bombas de velocidade variável, motores elétricos, aquecedores, entre outros (SMITH 1997, pg. 3).

2.6 Centum VP

O CENTUM VP é um sistema de controle de produção integrado para controle de plantas usado em uma ampla variedade de campos, incluindo refino de petróleo, jusante de petróleo, química, ferro e aço, alimentos e energia elétrica. Este General Especificação (GE) descreve as especificações do sistema do CENTUM VP, bem como os componentes e a rede especificações (YOKOGAWA, 2008).

O CENTUM VP tem uma arquitetura simples e comum que consiste em interface intuitiva entre operador e máquina, estações de controle de campo e rede de controle.

Suporta não somente controle contínuo e de processo em lote, mas também gerenciamento das operações de produção.

O CENTUM VP é o mais recente sistema de controle de produção integrada da Yokogawa, também conhecida como Sistema de Controle Distribuído (DCS).

É a plataforma central da Yokogawa que foi projetado para atingir a planta ideal.

2.7 Instrumentação industrial

A instrumentação industrial é a ciência que estuda, desenvolve técnicas e aplicações para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos industriais.

De acordo com a organização norte americana de instrumentação (ISA – *Instrument Society of America*) um instrumento industrial é todo dispositivo usado para direta ou indiretamente medir e/ou controlar uma variável.

Segundo a ISA, incluem-se os elementos e sensores primários, elementos finais de controle, dispositivos computacionais, dispositivos elétricos de alarme, chaves e botoeiras. Os componentes internos dos instrumentos já não se classificam como instrumentos (norma ANSI/ISA-S5.1-1984-R-1992).

2.7.1 Classes de instrumentos

Na instrumentação industrial é possível classificar os instrumentos de acordo com suas funções e características desempenhadas ao longo de todo processo produtivo e para isto é sempre predominante sabermos a variável que está sendo medida ou controlada.

Indicador de Campo: Instrumento que dispõe de um ponteiro e de uma escala graduada na qual pode-se ler o valor da variável que está sendo medida ou monitorada.

Existem também indicadores digitais ou analógicos que indicam a variável que está sendo controlada ou monitorada em forma numérica com dígitos ou barras gráficas com simbologia na frente das unidades referentes medidas.

Indicador de Supervisório: Janelas virtuais criadas e configuradas no ambiente de supervisório que transmite as informações do indicador de campo em tempo real por meio dos transmissores dos indicadores onde o operador de sala de controle consegue monitorar a variável medida sem ter a necessidade de estar indo em campo, e este monitoramento só é possível para indicadores que possuem transmissores de sinais. Para indicadores mecânicos as medições são realizadas somente em campo.

Registrador de Campo: Instrumento que registra a variável por meio de um traço contínuo ou pontos em um gráfico e as informações normalmente ficam registradas no próprio instrumento.

Por meio de interfaces de comunicação ou display é possível navegar no histórico para verificar as informações registradas como os valores das variáveis, alarmes e erros de registro.

Registrador de Supervisório: Janelas virtuais, blocos de controle criados e configuradas no ambiente de supervisório que recebe as informações do transmissor de campo e passa a monitorar e registrar os valores das variáveis medidas normalmente em longos períodos onde é possível obter as informações para tomadas de decisões assim como constantes melhorias nos ciclos dos processos industriais.

Transmissor: Instrumento normalmente acoplado ao elemento primário e em alguns casos separados do elemento primário, ambos situados e instalados na área produtiva. Este tipo de ação em que o transmissor é instalado longe do elemento primário é chamado de transmissor remoto.

O transmissor recebe as informações da variável medida pelo elemento primário e transmite estas medições em sinais elétricos já convertidos para serem lidos em sistemas de controle distribuído ou controladores lógicos programáveis.

Transdutor: Instrumento que recebe informações dos instrumentos instalados na área produtiva na forma de uma ou mais quantidades físicas, modifica caso necessário as informações e fornece um sinal de saída resultante para os sistemas de leitura e controle. O transdutor trabalha apenas com sinais de entrada e saída padronizados de forma a alcançar maior confiabilidade nas medições em qualquer indústria.

Controlador de Campo: Instrumento instalado na área produtiva onde é feita a comparação entre a variável controlada com um valor desejado e cujo objetivo é fornecer um sinal de saída a fim de manter a variável controlada em um valor específico ou entre valores determinados.

Controlador de Supervisório: Janelas virtuais e blocos de controle criados e configuradas no ambiente de supervisório que recebe as informações do transmissor de campo e passa a monitorar, registrar e controlar os valores das variáveis medidas de acordo com os valores

configurados pelo operador ou pelo próprio sistema de controle seja Sistema Digital de Controle Distribuído ou Programador Lógico Programável (norma ANSI/ISA-S5.1-1984-R-1992).

2.7.2 Transmissor de nível

Os instrumentos transmissores de nível são muito utilizados nos processos industriais e servem para medir em tempo real a quantidade de produto ou fluido que tem nos reservatórios, tanques e silos, conforme apresentado na Figura 3.



FIGURA 3 – Transmissor de Nível tipo Dp cell
Fonte: www.yokogawa.com.br.

Quando estes instrumentos são colocados em funcionamento eles passam por algumas etapas onde é feito a configuração do range entre 0 e 100% do instrumento onde o 0% é o range mínimo que o transmissor de nível irá medir e 100% é o range máximo que o transmissor de nível irá medir.

Muitas empresas configuram seus instrumentos com um valor de lastro onde o instrumento entende que o 0% dele é 3% da quantidade de fluido líquido ou pastoso do tanque, isto é feito para que nunca falte fluido líquido ou pastoso nos reservatórios, tanques e silos e não tenha risco de suas bombas funcionarem sem fluido o que ocasionaria quebras relevantes para continuidade operacional. Também configuram o 100% do tanque com o volume entre 95 e 97% para não terem o risco de transbordamento e conseqüentemente danos ambientais.

Basicamente existe dois tipos de transmissores de níveis que são muito utilizados nas indústrias.

O instrumento de nível é instalado na parte inferior de um reservatório, tanque ou silo em que se deseja realizar a medição e este pode ser do tipo diferencial de pressão onde é utilizada a tomada de alta pressão onde o instrumento será inserido, normalmente em flanges. Em alguns casos, são interligados por tubing de aço inox e tomada de baixa pressão que sai da castanha do instrumento em direção a parte superior do tanque onde é feito a medição comparando a pressão de coluna que está na parte inferior e a pressão da coluna na parte superior.

a) Transmissor de nível do tipo ultrassônico

O instrumento de nível é instalado na parte superior do reservatório, tanque ou silo e realiza as medições por meio de ondas enviadas até o fundo dos reservatórios, onde as ondas batem no fundo e retornam para o instrumento de nível fornecendo a medição real do nível, conforme Figura 4.



FIGURA 4 – Transmissor de Nível tipo Ultrassônico
Fonte: www.yokogawa.com.br.

Os transmissores de nível utilizam grandezas elétricas como a condutividade, constante dielétrica, densidade e granulometria em produtos líquidos ou gasosos no seu princípio de funcionamento.

2.7.3 Transmissor de pressão

Os instrumentos de pressão são fundamentais nos processos industriais principalmente nos reatores químicos e tem a finalidade de fornecer em tempo real e com precisão a pressão no interno do reator químico, conforme Figura 5.



FIGURA 5 – Transmissor de Pressão

Fonte: www.yokogawa.com.br.

Seu princípio de funcionamento consiste em captar a pressão de determinado equipamento por meio de uma conexão ao processo padrão até o sensor de pressão interna do instrumento o que é chamado de selo de instrumento onde é ocasionada uma mudança no seu estado. A partir deste ponto, o instrumento converte esta medição em grandezas elétricas normalmente na unidade de corrente (mA) ou tensão na unidade de (mV).

Existem vários tipos de transmissores de pressão cujo a finalidade é a mesma e a escolha varia de acordo com cada processo industrial. O transmissor recomendado para ser utilizado em um reator químico é do tipo Dpcell com selagem devido sua alta confiabilidade e resistência o que resulta em um maior tempo de vida útil para o processo.

Quando estes instrumentos são colocados em funcionamento eles passam por algumas etapas onde é feito a configuração do range entre 0 e 100% do instrumento onde o 0% é o range

mínimo que o transmissor de pressão irá medir e 100% é o range máximo que o transmissor de pressão irá medir.

2.7.4 Válvula on off com monitor de posição

Existem vários tipos de válvulas mecânicas, porém as mais utilizadas em reatores químicos são as válvulas globo devido sua confiabilidade na abertura e no fechamento e também o custo-benefício, pois são válvulas mais baratas e que conseguem fornecer excelentes respostas ao processo, conforme Figura 6.



FIGURA 6 – Válvula On Off com Monitor de Posição

Fonte: www.solutioncontroles.com.br.

Estas válvulas são chamadas de on-off devido sempre estarem totalmente abertas ou totalmente fechadas e possuem um alto potencial de estanqueidade, o que para o processo se torna altamente confiável.

Outro aspecto bastante positivo de válvulas globo é que a construção permite fácil manutenção e alteração da característica de controle, alterando apenas a sede e o obturador.

Entretanto, a mão de obra deve ser qualificada para garantir que as partes do equipamento operem alinhadas, sofrendo o mínimo de dano possível (EMERSON PROCESS MANAGEMENT, 2005).

2.7.5 Sensor e transmissor de temperatura PT100 á 3 fios

Os sensores e transmissores de temperaturas são fundamentais em um reator químico, eles fornecem a temperatura em tempo real e com precisão em todo o ciclo de processo, conforme Figura 7.



FIGURA 7 – Sensor e Transmissor de Temperatura

Fonte: www.novus.com.br.

Existem vários tipos de transmissores de temperatura, porém os mais utilizados para processos em que a temperatura máxima é inferior a 400 graus Celsius que é o caso de um reator químico são os instrumentos que utilizam no elemento primário sensores de termoresistência do tipo PT-100 a 3 fios.

Os transmissores de temperatura são compostos por uma termoresistência cujo material de fabricação normalmente é a platina devido sua alta precisão e alta dilatação convertida em sinais elétricos, o elemento secundário que é o transmissor de temperatura, principal responsável por coletar os sinais elétricos recebidos do sensor de PT-100 e por meio de transdutores converter os sinais em linguagem de supervisorio ou controlador lógico programável nas unidades padronizadas de corrente ou tensão.

Os sensores de temperaturas possuem diversos tamanhos de acordo com a necessidade dos processos e são inseridos em pontos estratégicos do reator normalmente na parte inferior. Importantes salientar que os sensores não ficam em contato direto com o produto. Para isto, são instalados poços no reator para inserção dos sensores onde se torna possível as manutenções ou calibrações futuras sem ter a necessidade de o reator de processo químico estar vazio ou todo

lavado, o que ocasionaria perdas de tempo desnecessárias. A inserção ou retirada do sensor é feita de forma segura sem contato direto com o produto.

2.7.6 Transmissor de potencial hidrogeniônico

Os transmissores de potencial hidrogeniônico realizam o controle de pH ao longo de todo o ciclo do processo de acordo com as informações passadas pela engenharia de processos químico, conforme apresentado na Figura 8.



FIGURA 8 – Transmissor de Potencial Hidrogeniônico
Fonte: www.knick.com.br.

Os instrumentos de medição de pH são compostos pelo sensor elemento primário que é chamado de eletrodo de medição, onde pode ser eletrodos analógicos e os eletrodos mais avançados que são os digitais.

Os eletrodos normalmente são inseridos em sondas retrateis instaladas em linhas ou no próprio reator químico o que permite a retirada e inserção do eletrodo em qualquer fase do processo sem contato com o produto químico permitindo que se faça calibração ou aferição com total segurança ao mantenedor.

Os eletrodos digitais possuem um chip no corpo dele que consegue armazenar todas as informações ao longa de sua vida útil e ajuda na detecção de falhas ou melhorias no processo

por ser possível a coleta das informações de desempenho em todas as etapas do ciclo do processo.

Os transmissores de potencial hidrogeniônico que é responsável por coletar os sinais elétricos recebidos do eletrodo de pH e por meio de transdutores converter os sinais em linguagem de supervisorio ou controlador lógico programável nas unidades padronizadas de corrente ou tensão.

3. METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO

A metodologia para poder implementar esta proposta foi a identificação de barreiras de proteção do reator químico no qual permitiu uma visualização prática e assertiva de quais são os elementos de cada barreira de segurança do equipamento que será automatizado.

3.1 Definições

Elemento - Divisão básica no Gerenciamento de Segurança de Processo (PSM) correlacionada com o tipo de atividade a ser realizada.

Evento iniciador - Falha do equipamento, ação de pessoas inapropriada ou evento externo que desencadeia um cenário de acidente de processo.

Cenário acidental - Evento ou sequência de eventos resultante de uma causa iniciadora e que culmina em uma consequência perigosa podendo gerar acidente de processo ou pessoas.

Risco - Fator inerente a condições de processo ou equipamento originadas por eventos anormais, sem levar em consideração as camadas de proteção do reator.

Perigo - Condição ou propriedade, inerente a uma substância, a uma atividade, a um sistema, ou a um processo, com potencial para causar danos a integridade física das pessoas, meio ambiente, patrimônio ou perda de produção.

Barreira de proteção - Todo o grupo de equipamentos, válvulas, acessórios, instrumentos, dispositivo mecânico ou ações de controle que protegem o reator químico de algum evento indesejado ou limita as suas consequências em um determinado descontrolado.

3.2 Metodologia de identificação de barreiras baseado na teoria do queijo suíço

O Método do Queijo Suíço, proposto por James Reason, traz uma sistemática para o estudo do gerenciamento de riscos nas empresas, a partir de fatores relacionados à organização e a gestão de diversos elementos da empresa. Ao acreditar que existe uma sequência lógica para a ocorrência de acidentes organizacionais, sendo somente acidentais no modo que vários fatores combinam para gerar o mesmo, e que não existe nada acidental na ocorrência destes precursores (REASON, 2006), buscou-se então a criação de um modelo que pudesse ser aplicado para um amplo leque de opções, desde baixos riscos até domínios altamente perigosos.

Este método mostra que todo acidente é fruto do alinhamento, falhas das barreiras e proteções que separam os eventos acidentais e avarias das pessoas ou ativos. As causas destas falhas advêm principalmente de três grandes vertentes: humano, técnico e organizacional.

A metodologia baseia-se na existência de sete diferentes barreiras de proteção, cada uma sendo uma fatia do queijo. Os furos no queijo representam as falhas (inerentes ou não) de cada barreira. O acidente seria então análogo a um canudo que passaria pelas sete fatias enquadradas. Sendo assim, um acidente somente aconteceria quando as falhas de todas as barreiras estiverem alinhadas para aquela determinada situação.

A Figura 9 traz uma representação prática do modelo..

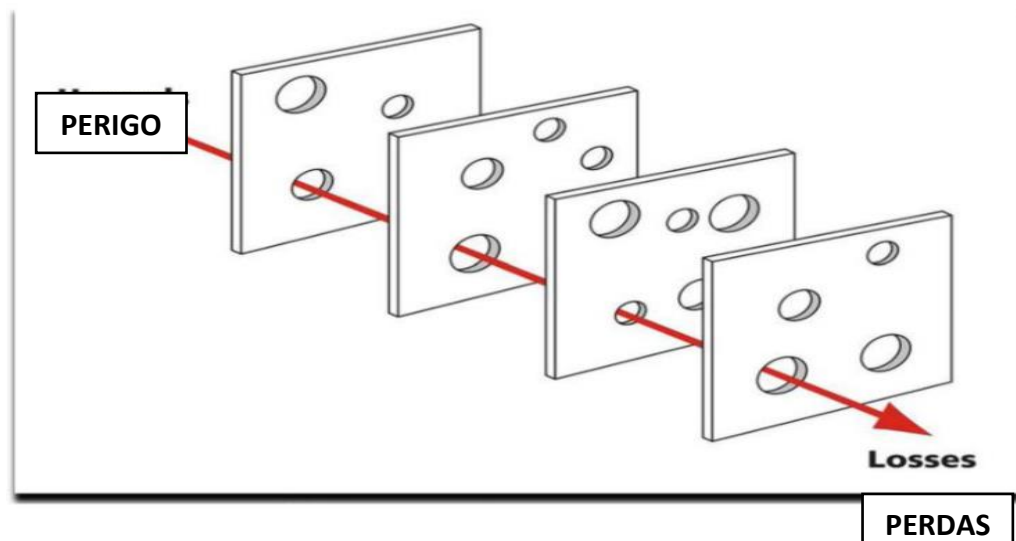


Figura 9 - Modelo do Queijo Suíço, como a trajetória de um acidente ultrapassa as defesas, barreiras e salvaguardas

Fonte: REASON, 2000.

A proposta para implementação de um sistema de automação em um reator químico industrial se baseia nesta metodologia das sete barreiras de proteções onde o objetivo é alcançar o padrão de alta confiabilidade do processo por meio de uma automação moderna que irá eliminar o risco de desperdícios, acidentes de processos ou pessoas e otimização de tempo dos ciclos de processo.

Cada uma das sete fatias representa um conjunto de elementos que previnem ou mitigam um acidente dentro de uma empresa.

As quatro primeiras barreiras são as mais importantes no ciclo de processos para que não ocorra os acidentes e elas representam etapas preventivas do processo do reator químico, enquanto que as três últimas barreiras de segurança também são de suma importância, porém neste momento o acidente já ocorreu e estas três etapas finais representam as barreiras mitigadoras, ou seja, elas permitiram conter todos os impactos gerados no acidente e irão guiar os responsáveis da empresa para minimizar os impactos causados com uso de procedimentos previamente analisados e a disposição de toda equipe responsável da empresa.

A Figura 10 mostra as sete barreiras, preventivas e mitigadoras.

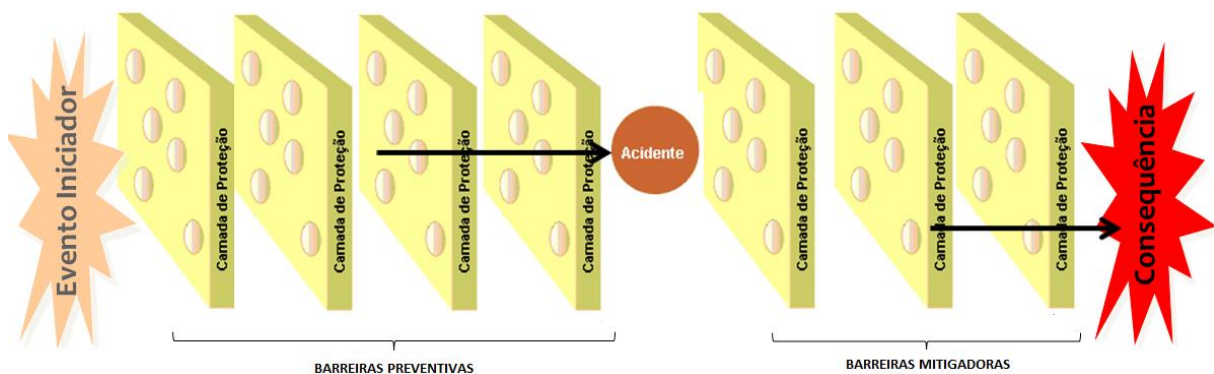


Figura 10 - Modelo do Queijo Suíço representando as camadas preventivas mitigadoras

Fonte: REASON, 2000.

3.3 As sete barreiras de proteção

As barreiras de proteção são mecanismos de controle que permitem reduzir a frequência ou consequência de cenários acidentais, podendo ser físicos, lógicos, procedimentais, administrativo, gestão e engenharia.

O modelo de segurança de processo baseado no risco de um reator químico industrial está estruturado com as sete barreiras as quais estão definidas, assim como os elementos que as compõe.

3.3.1 Primeira barreira é o Sistema Básico de Controle (SBC)

O Sistema Básico de Controle (SBC) consiste em todo o sistema que controla de forma mais direta o processo produtivo em condições seguras e em operação normal. Esta barreira inclui os controles exercidos manualmente pelas pessoas. A seguir são apresentados alguns exemplos:

- Descrição, propósito e plano de manutenção das malhas de controle dos sistemas críticos;
- Manobras operacionais de rotina e não rotineiras;
- Lista de sets points e ranges dos equipamentos das variáveis do processo;
- Procedimentos operacionais críticos;
- Integridade mecânica dos equipamentos por intermédio dos sistemas de manutenção;
- Programa de treinamentos para toda equipe operacional.

3.3.2 Segunda barreira são os Alarmes Críticos (AC) e a Intervenção Operacional (IO)

Os Alarmes Críticos (AC) e Intervenção Operacional (IO) é considerado o segundo nível de barreiras de proteção durante operações normais e deve ser ativado pelo sistema básico de controle de processo (SBCP). A ação dos operadores, iniciada por alarmes ou observação, deve ser considerada uma barreira de proteção. Procedimentos operacionais e treinamento podem melhorar a performance dos operadores, mas os procedimentos em si não são barreiras de proteção. A seguir são apresentados alguns exemplos:

- Relação de alarmes críticos para segurança de processo e suas características do cenário com os respectivos sets points e atividades dos operadores para normalização da operação;

- Procedimentos operacionais relacionados com a intervenção do operador em casos de situações anormais de operação como por exemplo a falta de energia para continuidade operacional, falta de água de resfriamento para refrigerar o reator em momentos em que o reator estiver em fase de reação, situações de shutdown, falta de ar de instrumento para atuação das válvulas pneumáticas;
- Programa de treinamentos para toda equipe operacional.

3.3.3 Terceira barreira é o Sistema Instrumentado de Segurança (SIS)

O Sistema Instrumentado de Segurança (SIS) é a combinação de sensores e válvulas de controle em todas as fases do processo químico do reator, sistemas de lógicas de acionamentos e intertravamentos no sistema digital de controle distribuído, elaboração de tela operacional para visualização das etapas de processo, com níveis de integridade de segurança especificados em conformidade com equipes de engenharias multidisciplinares, que detecta uma situação anormal e a corrige, trazendo o processo químico do reator para suas condições normais de operação. A seguir são apresentados alguns exemplos:

- Criação de tela operacional animada para controle do processo;
- Descrição e configuração das lógicas dos intertravamentos no sistema digital de controle distribuído;
- Criação de blocos de controle no sistema digital de controle distribuído;
- Programa de treinamentos para toda equipe operacional.

3.3.4 Quarta barreira são as Proteções Físicas (PF)

As Proteções Físicas (PF) são dispositivos que devem estar bem dimensionados, projetados, instalados e mantidos de forma apropriada no reator químico, eles são as barreiras independentes de proteção, que oferecem um alto grau de proteção contra sobre pressão ou vácuo para fluídos limpos. Sua efetividade é afetada por fluídos corrosivos ou sujos, pela instalação de válvulas de bloqueio em suas tomadas de processo, ou pela baixa qualidade das atividades de inspeção, manutenção e calibração. A seguir são apresentados alguns exemplos:

- Válvulas de segurança (PSV);
- Discos de ruptura (PSE);
- Válvulas de quebra-vácuo (PRV).

3.3.5 Quinta barreira é a Proteção Física Pós-Perda de Contenção (PFPPC)

A Proteção Física Pós-Perda de Contenção (PFPPC) é a barreira utilizada quando as quatro etapas anteriores falharam simultaneamente e consiste na primeira contenção física após a ocorrência do acidente, sendo recursos passivos que proporcionam elevado nível de proteção se foram projetados e mantidos de forma apropriada. A seguir são apresentados alguns exemplos:

- Diques de contenção;
- Paredes à prova de explosão;
- Lagos de contenção;
- Sistemas de espuma;
- Detectores de gases;
- Detectores de fumaça.

3.3.6 Sexta barreira é o Plano de Atendimento a Emergência (PAE)

O Plano de Atendimento a Emergência (PAE) é a primeira resposta de barreira a emergência em um reator químico. É uma barreira mitigadora que envolve todos os recursos para o combate, desde o treinamento aplicado a brigada de emergência da empresa até as estratégias de combates determinadas. A seguir são apresentados alguns exemplos:

- Diretrizes de preparação a emergência e de Brigada de Emergência (BE);
- Fluxo de comunicação, simulados;
- Recursos fixos de combate a emergência;
- Recursos móveis de combate a emergência.

3.3.7 Sétima barreira é o Plano de Gestão de Crises (PGC)

O Plano de Gestão de Crises (PGC) é uma barreira mitigadora, acionada após a ocorrência de acidente. Visa administrar a situação de crise com eficácia, de forma a minimizar os impactos aos funcionários, contratados, pessoas da comunidade e ao meio ambiente. Mobiliza recursos para assistência médica, social e psicológica para apoio às eventuais vítimas e seus familiares. Atua de forma proativa com os meios de comunicação e partes interessadas, com foco no correto e ágil esclarecimento dos fatos.

3.4 Máscaras de barreiras

As máscaras de barreiras é uma ferramenta de visualização de todos os elementos que compõe cada barreira de um cenário acidental.

Considerando um cenário acidental de uma Análise Preliminar de Perigo (APP), o qual traz exemplos e as informações na Tabela 1.

Tabela 1 – Cenário acidental de uma Análise Preliminar de Perigo (APP) de processo.

Perigo	Causa	Consequência	Salvágarda
Grande liberação de líquido inflamável/combustível no reator químico	- Transbordo do reator químico.	- Incêndio, em presença de fonte de ignição	- Área classificada (motores blindados)
	- Ruptura do selo mecânico da bomba de carregamento de matéria prima.		
	- Ruptura de linhas de alimentação, juntas e acessórios		
	- Erro operacional: alinhamento incorreto do reator.		- Sistema de combate a incêndio.
	- Erro operacional: abertura indevida de drenos.		

Abaixo de cada uma das sete barreiras de proteção há retângulos que corresponderão aos elementos pertencentes a cada etapa, conforme apresenta na Figura 11.

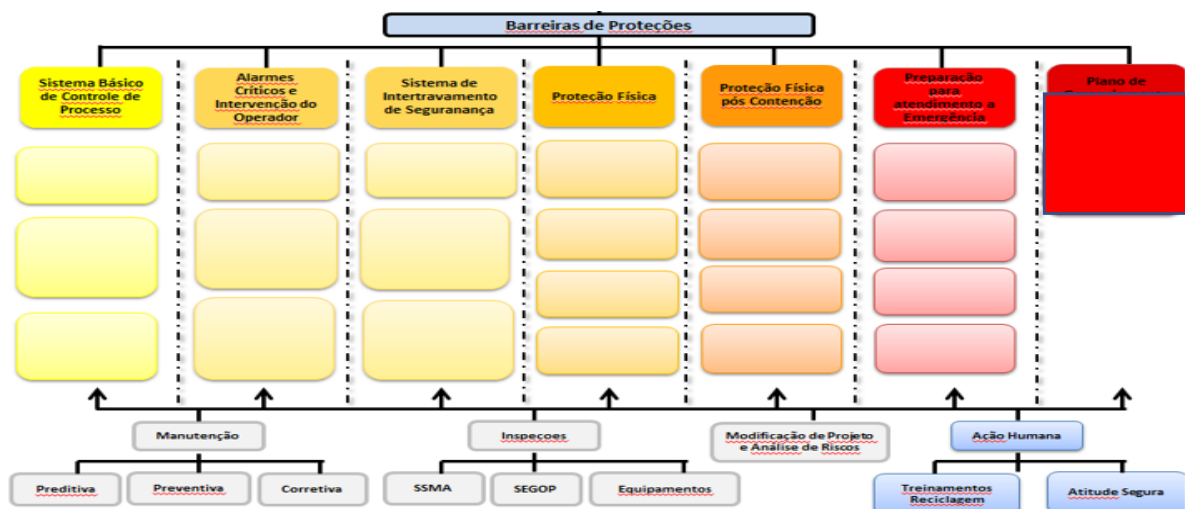


Figura 11 - Modelo da Máscara de Barreiras

Fonte: Próprio autor.

Levando em consideração uma análise crítica das sete barreiras para a proposta de implementação de um sistema de controle e automação em um reator químico industrial, a próxima etapa é identificar os elementos que constituem cada uma delas.

3.5 Método de aplicação

3.5.1 Primeira barreira

a) Sistema Básico de Controle em um Reator Químico Industrial

Considerando que no reator químico industrial será instalado válvulas de controle, transmissor de nível, transmissor de pressão, transmissor de temperatura e transmissor de pH associados em uma mesma malha de controle que será responsável pelo controle direto do processo.

Para estes instrumentos ou procedimentos é recomendado tag's dos elementos da malha de controle para facilitação do entendimento e uma melhor visualização dos operadores. A seguir são apresentados alguns exemplos:

Tabela 2 – Sugestão de tag's para proposta de implementação de controle e automação do reator químico industrial.

TAG	Descrição
LI 1200	Indicador de nível de campo
LC 1200	Controlador de nível do supervisor
PIT 1201	Transmissor e indicador de pressão de campo
PC1201	Controlador de Pressão
TIT 1202	Transmissor e Indicador de Temperatura
TC1202	Controlador de Temperatura
AIT 1203	Transmissor e Indicador Analítico
AC 1203	Controlador Analítico
HV 1204	Válvula de Controle da entrada de água
HV 1205	Válvula de Controle da entrada de nitrogênio
HV 1206	Válvula de Controle de entrada de vapor
HV 1207	Válvula de Controle de água de resfriamento da camisa
HV 1208	Válvula de Controle de transferência de produto acabado

HV 1209	Válvula de Controle para alívio do reator
HV 1210	Válvula de Controle de matéria prima
HV 1211	Válvula de Controle de matéria prima
HV 1212	Válvula de Controle de matéria prima
HV 1213	Válvula de Controle de matéria prima
ITO 1200	Instrução Técnica Operacional
POL 1200	Procedimento Operacional Local

3.5.2 Segunda barreira

a) Alarmes Críticos (AC) e Intervenção Operacional (IO)

O reator industrial químico terá alarmes na tela operacional do operador de sala de controle com alarmes visuais e sonoros tendo como objetivo alertar o operador para que por meio do ITO 1200 ou do POL 1200 o operador possa desenvolver ações para manter o processo em condições normais.

3.5.3 Terceira barreira

a) Sistema Instrumentado de Segurança (SIS)

Para evitar transbordo no reator industrial químico será configurado intertravamento de nível alto onde o nível de reator acima de 90% irá emitir um pulso fechando as válvulas de carregamento de matéria prima para não ter risco de transbordo. Esta operação permite ao operador abrir as válvulas normalmente após o pulso. Caso o reator ultrapasse 95% do nível as válvulas de carregamento irão passar para modo de operação automático e todas serão fechadas para segurança do processo.

Para evitar que o reator industrial químico opere em temperaturas altas acima de 220°C será criado intertravamento onde caso isto aconteça, feche as válvulas de carregamento de matéria prima e abra somente a válvula de água para poder resfriar a reator.

Também para evitar que o reator industrial químico ultrapasse os 6 kgf/cm² de pressão será criado intertravamento onde caso isto aconteça a válvula de controle abra aliviando o reator para atmosfera.

E, para evitar descontrole no potencial hidrogeniônico caso o transmissor de pH fique abaixo de 5.0 pH o que é considerado uma solução muito acida para o processo do reator

químico, será aberta a válvula de carregamento de água para elevar o pH até o valor de 7.0 conforme configurado nas logicas de acionamento e intertravamento.

3.5.4 Quarta barreira

a) Proteção Física (PF)

O reator químico industrial irá trabalhar com pressão entre 0.5 e 5 kgf/cm² e terá uma válvula de segurança de pressão instalada em seu corpo para atuar com pressões acima de 7 kgf/cm² de forma totalmente mecânica a qual terá seu alívio direcionado para canaleta de retenções de líquidos.

3.5.5 Quinta barreira

a) Proteção Física Pós-Perda de Contenção (PFPPC)

O reator químico industrial deverá ter canaletas de retenções direcionadas a um dique de retenção para isolamento de todo o inventário.

3.5.6 Sexta barreira

a) Plano de Atendimento a Emergência (PAE)

Ao lado do reator químico industrial deverá haver um chuveiro de emergência e lava olhos juntamente com máscaras autônomas e todos os itens de primeiros socorros à disposição da equipe de brigada de emergência.

Deverá conter sistema de sprinklers ao redor do reator químico industrial e um canhão de água com alcance até a estrutura do reator.

No caso de necessidade, deverá haver um procedimento operacional específico de plano de atendimento de emergência, que cobre o cenário de transbordo do reator.

3.5.7 Sétima barreira

a) Plano de Gestão de Crises (PGC)

Em casos de emergência com dimensões maiores, deverá haver um Plano de Gestão de Crise (PGC) da empresa, para lidar ou sanar com as consequências decorridas do acidente.

3.5.8 Elaboração de Procedimento Operacional

Será elaborado pela engenharia de processo junto a uma equipe multidisciplinar um procedimento operacional com o passo a passo de operação constando a forma correta que os operadores de sala de controle e operador de campo deverá seguir em todo o ciclo de batelada.

Este documento serve para padronizar a operação para que todos operem da mesma forma e tenham conhecimento para qualquer situação de descontrole de processo e saibam como agir por intermédio de procedimento pré-estabelecido na partida do ciclo de batelada do reator químico industrial.

Este procedimento também será utilizado para futuras auditorias para comprovação de conhecimento operacional dos operadores junto ao órgão pertinentes, o que agrega credibilidade e confiança aos seus clientes.

3.5.9 Comissionamento de Partida

Todo início de partida desta proposta de implementação de um sistema de controle e automação em um reator industrial químico terá como fundamental o loop teste onde é feito o teste de abertura, fechamento e teste de falha na falta de energia elétrica ou pneumática de toda as válvulas on off de controle com acionamento pelo operador de sala de controle com acompanhamento do técnico de automação e validação visual em campo pelo operador de processo juntamente com o técnico de instrumentação para garantir que as válvulas estejam funcionando perfeitamente.

Da mesma forma será gerado sinais analógicos de 4, 8, 12, 16 e 20 mA nos instrumentos de temperatura, pressão, nível e potencial hidrogeniônico em campo onde o operador fará a leitura na sala de controle.

Toda vez que o técnico de instrumentação estiver gerando sinal de 4 mA em campo com acompanhamento do operador de processo através de instrumentos padrões o operador de sala de controle juntamente com o técnico de automação terá de validar o valor de 0% da faixa de range do instrumento conforme faceplate na tela de operação com o tag do instrumento onde indica o valor mínimo e o valor máximo de medição.

Toda vez que o técnico de instrumentação estiver gerando sinal de 8 mA em campo com acompanhamento do operador de processo através de instrumentos padrões o operador de sala

de controle juntamente com o técnico de automação terá de validar o valor de 25% da faixa de range do instrumento conforme faceplate na tela de operação com o tag do instrumento onde indica o valor mínimo e o valor máximo de medição.

Toda vez que o técnico de instrumentação estiver gerando sinal de 12 mA em campo com acompanhamento do operador de processo através de instrumentos padrões o operador de sala de controle juntamente com o técnico de automação terá de validar o valor de 50% da faixa de range do instrumento conforme faceplate na tela de operação com o tag do instrumento onde indica o valor mínimo e o valor máximo de medição.

Toda vez que o técnico de instrumentação estiver gerando sinal de 16 mA em campo com acompanhamento do operador de processo através de instrumentos padrões o operador de sala de controle juntamente com o técnico de automação terá de validar o valor de 75% da faixa de range do instrumento conforme faceplate na tela de operação com o tag do instrumento onde indica o valor mínimo e o valor máximo de medição.

Toda vez que o técnico de instrumentação estiver gerando sinal de 20 mA em campo com acompanhamento do operador de processo através de instrumentos padrões o operador de sala de controle juntamente com o técnico de automação terá de validar o valor de 100% da faixa de range do instrumento conforme faceplate na tela de operação com o tag do instrumento onde indica o valor mínimo e o valor máximo de medição.

Também será realizado a abertura do cabo de sinal do instrumento para verificar se a falha do instrumento está indo para final de escala.

Após todo loop teste concluído e aprovado é dado início ao teste de intertravamento do ciclo de batelada do reator de processo químico industrial com água, com base em um documento com todas as etapas de processo é feito as simulações de intertravamentos e validações se está aprovado ou necessita de correção.

Este teste é feito da mesma forma com operador de sala de controle e técnico de instrumentação fazendo as atuações necessárias e operador de processo e técnico de instrumentação em campo fazendo as validações visuais de abertura e fechamento de válvulas.

Após todos os testes realizado e aprovados toda equipe irá assinar o documento comprovando que foi realizado os testes solicitados pela engenharia, este documento é validado pela engenharia de manutenção e engenharia de processos da empresa e a partir deste momento o reator está liberado para início de produção.

Lembrando que as primeiras partidas do ciclo de bateladas serão acompanhadas pelo engenheiro de segurança de processos para garantir o perfeito funcionamento e avaliar se existem alguma melhoria pertinente para que seja feita.

3.5.10 Levantamento de materiais

A metodologia aplicada será a criação de tela de operação, instalação de instrumentos modernos e testes de malhas em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% nos sistemas de nível, temperatura, pH e pressão do reator, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Lista de Materiais para automação do Reator Químico Industrial

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
Máquina desktop operacional	01
Máquina desktop de configuração	01
Painel incluindo cpu, fonte e node	01
Bobina de Cabo de fibra optica para interface entre campo e supervisorio com 100 metros	01
Módulo de entrada analógica com 32 pontos de ligação	01
Módulo de saída analógica com 16 canais com jumper para passivo ou ativo	01
Software Centum-Vp da Yokogawa America do Sul	01
Licença do Software Centum-Vp da Yokogawa America do Sul	01
Transmissor de nível flangeado com selo diafragma para conexão ao processo	01
Transmissor de pressão com selo diafragma para conexão ao processo	01
Válvula on – off com monitor de posição com indicação de aberto ou fechado	10
Sensor de Temperatura PT-100 á 3 fios	01
Transmissor de Temperatura com saída analógica 4 á 20 mA + Hart	01
Eletrodo digital para medição do pH do processo	01
Transmissor de pH com saída analógica 4 á 20 mA + Hart	01
Bobina de cabo de sinal 2x1 mm com 1500 metros	01

Testes de feedbacks dos estados de abertura e fechamento das válvulas através de comandos imputados pelo operador e técnico de automação via sala de controle nas lógicas ou blocos de atuação.

Todos os testes serão feitos com operador e técnico de instrumentação fazendo validação visual no campo.

3.6 Estimativa de custos

A Tabela 4 apresenta a estimativa de custos da proposta de implementação do projeto.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	ESTIMATIVA DE CUSTO (R\$)
Máquina desktop operacional	01	8.000
Máquina desktop de configuração	01	8.000
Painel incluindo cpu, fonte e node	01	45.000
Bobina de Cabo de fibra ótica para interface entre campo e supervisor com 100 metros	01	10.000
Módulo de entrada analógica com 32 pontos de ligação	01	8.000
Módulo de saída analógica com 16 canais com jumper para passivo ou ativo	01	10.000
Software Centum-Vp da Yokogawa America do Sul	01	20.000
Licença do Software Centum-Vp da Yokogawa America do Sul	01	40.000
Transmissor de nível 3” flangeado com selo diafragma para conexão ao processo	01	7.000
Transmissor de pressão 3” com selo diafragma para conexão ao processo	01	7.000
Válvula on – off 3” com monitor de posição com indicação de aberto ou fechado	10	80.000
Sensor de Temperatura PT-100 á 3 fios	01	800,00
Transmissor de Temperatura com saída analógica 4 á 20 mA + Hart	01	1.500
Eletrodo digital para medição do pH do processo	01	5.000
Transmissor de pH com saída analógica 4 á 20 mA + Hart	01	12.000
Bobina de cabo de sinal 2x1 mm com 1500 metros	01	6.000
Serviço completo de instalação (montagem de infra, instalação das válvulas e instrumentos, lançamentos de cabos, ligações e testes)	01	80.000
Serviço completo de instalação do sistema supervisorio, configuração, criação de telas e testes	01	20.000
Total do Investimento		368.300

4. RESULTADOS DA PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM UM REATOR INDUSTRIAL QUÍMICO

Todas as válvulas assim como os instrumentos que serão instalados no reator de processos químico e que serão utilizados no controle do processo são de alta confiabilidade agregando tecnologias de ponta no tempo de resposta das ações assim como excelente custo e benefício.

4.1 Criação de tela operacional de um reator químico industrial

Foi elaborado um modelo de tela operacional de reator químico industrial onde o operador de sala de controle através de treinamento operacional passa a ter domínio de todo o processo a distância e fazer o acompanhamento de todas as etapas de produção e caso ele verifique alguma anormalidade ele tem a autonomia através de comandos a distância de intervir no processo, reforçando que todo o processo a partir desta implantação passar a ser feito de forma programada de acordo com cada processo desenhado pelo engenheiro químico responsável (ASSIS *et.al.*,2020).

A tela operacional permite o operador saber quais válvulas estão abertas ou fechadas assim como todas as informações das variáveis de pressão, nível, temperatura e potencial hidrogeniônico trazendo confiabilidade ao processo e caso o sistema supervisório venha a detectar qualquer anomalia no sequenciamento do processos serão emitidos alarmes para o operador tomar a ação devida e caso o operador não tome a ação de imediato o supervisório fara os intertravamentos cabíveis de acordo com a programação para evitar qualquer tipo de acidente de processo.

A partir do momento em que as condições de processo voltarem aos parâmetros normais o sistema supervisório dará permissão para continuar o processo, conforme apresentado na Figura 12.

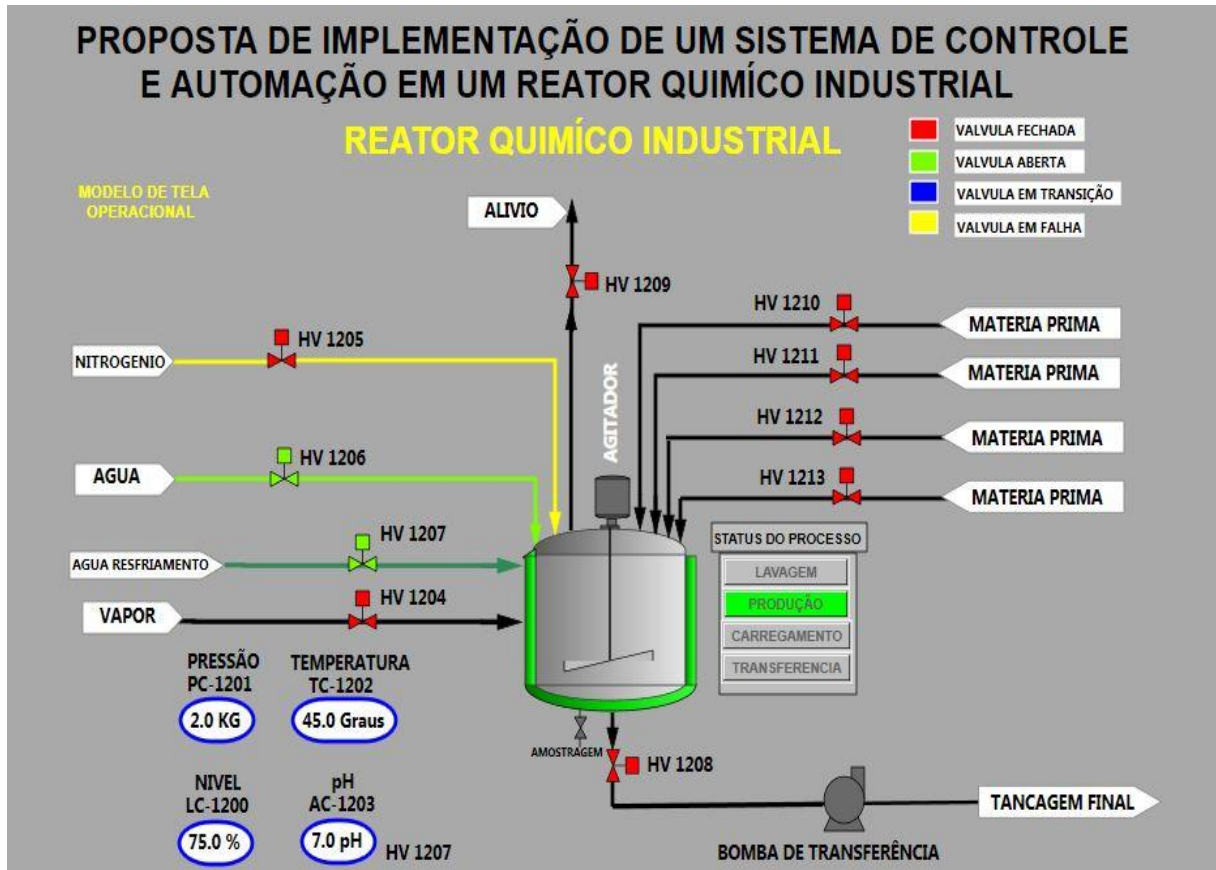


Figura 12 – Modelo de tela operacional

Fonte: Próprio autor.

4.2 Elaboração de lógicas de acionamentos e intertravamento para controle do reator químico industrial

Para um perfeito controle de todas as etapas de processos de um reator químico industrial é necessário que um time multidisciplinar de engenheiros químicos de processos desenhe e escreva todas as etapas de sequenciamento de bateladas do processo onde cada empresa tem a sua especialidade de processo.

A partir deste resultado a equipe de Controle e Automação é responsável por realizar as configurações no sistema digital distribuído e realizar os testes necessários de acordo com procedimentos de loop testes e descritivos de intertravamentos juntamente com operadores de processos e técnicos de instrumentação para garantir o perfeito funcionamento de toda configuração solicitada pelo departamento de engenharia de processos da empresa.

As lógicas de acionamentos e intertravamentos tem a função de permitir ao operador de sala de controle realizar acionamentos para continuidade operacional e caso algum descontrole

aconteça e o operador não perceba o sistema digital de controle distribuído de acordo com o que foi configurado irá fazer as ações necessárias intertravando o sistema de controle e colocando o mesmo em uma situação segura de forma a assegurar a qualidade e a confiabilidade do processo operacional evitando risco de acidentes e perdas de produtos.

O principal objetivo de logicas de acionamento e intertravamento é a garantia de segurança de todas as etapas de processo onde afeta diretamente a qualidade do produto final, através de intertravamentos bem definidos o processo irá sempre operar de forma segura, conforme apresentado nas Figuras 13 a 16.

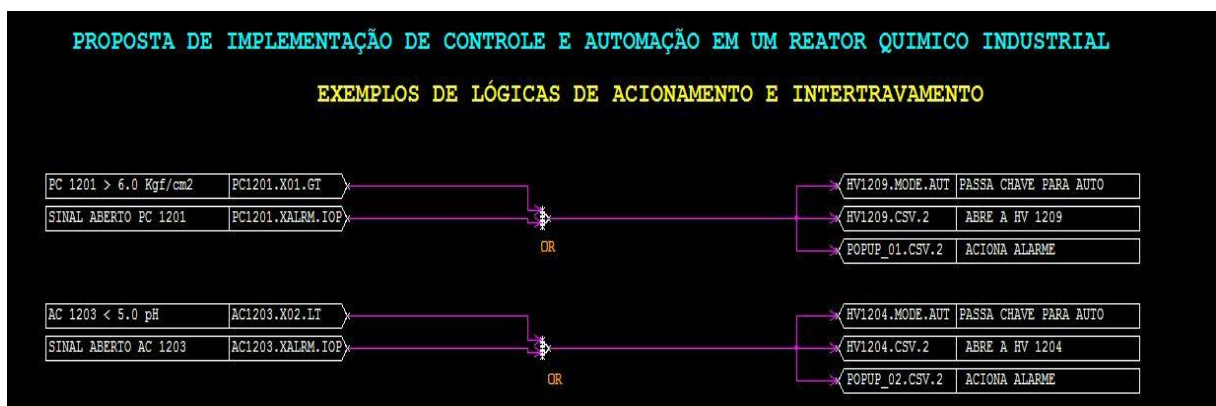


Figura 13 – Exemplo de lógicas de acionamento e intertravamento.

Fonte: Próprio autor.

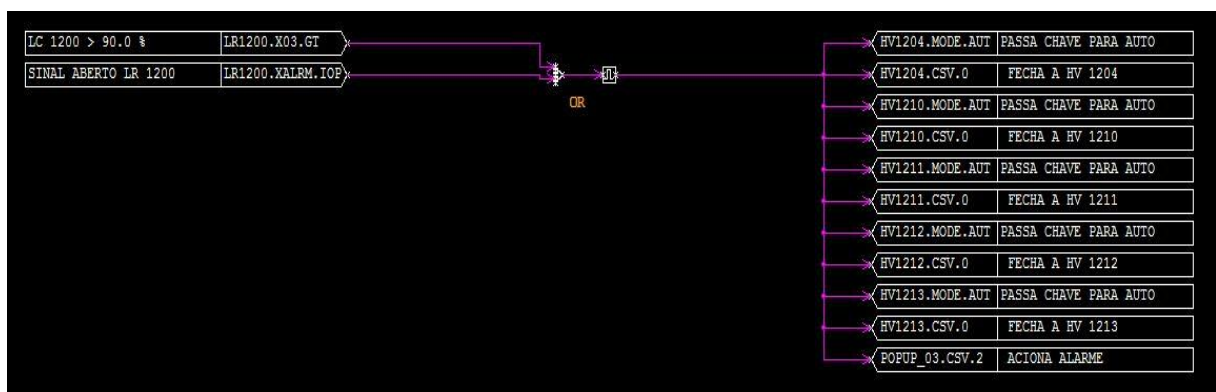


Figura 14 – Exemplo de lógicas de acionamento e intertravamento

Fonte: Próprio autor.

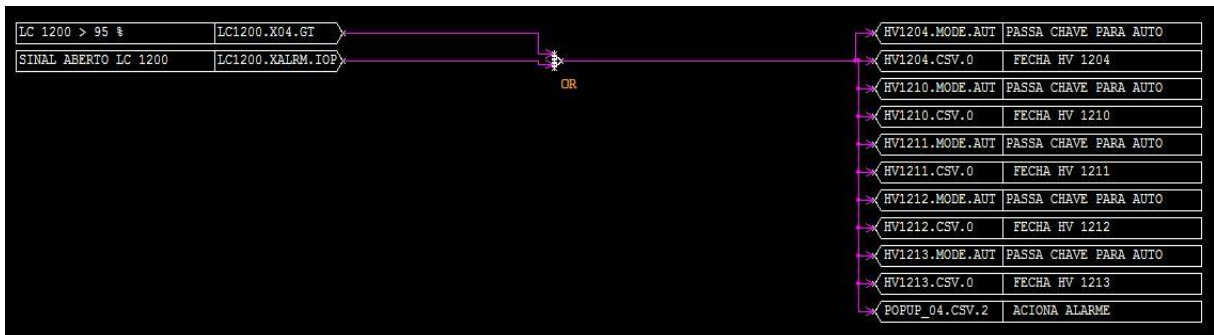


Figura 15 – Exemplo de lógicas de acionamento e intertravamento

Fonte: Próprio autor.

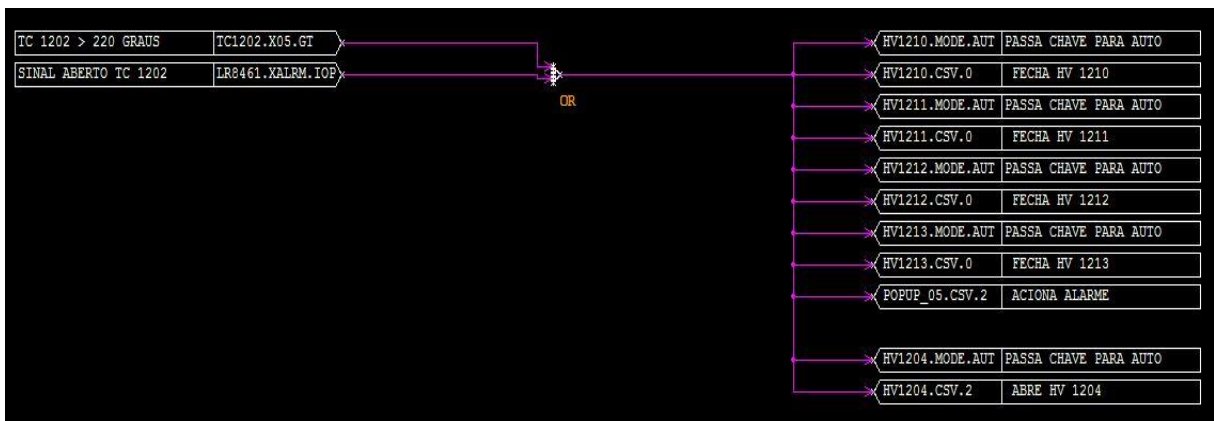


Figura 16 – Exemplo de lógicas de acionamento e intertravamento

Fonte: Próprio autor.

4.3 Reduzir tempo de ciclo de cada batelada de processo

Nos ciclos de bateladas de processos químicos não automatizados a média de tempo gira em torno de 36 horas onde o processo é todo feito de forma manual.

Todas as etapas de cada batelada de processo onde tem abertura ou fechamento de válvulas o operador tem que se deslocar para realizar estas ações, levando em média ao longo de todo ciclo de batelada 3 horas devido ao deslocamento até o reator químico industrial.

As leituras das variáveis de cada batelada do processo são feitas no próprio reator químico industrial através de sensores e leitores manuais onde o operador leva em média ao longo de todo ciclo de batelada 2 horas e com isso a confiabilidade e a qualidade do processo não são totalmente satisfatórias nos dias de hoje devido a grande evolução tecnológica ao redor das empresas.

Devido o controle ser feito de forma manual quando é percebido um descontrole no processo gera em média um desperdício de tempo em cada batelada de aproximadamente 4 horas para voltar o reator químico industrial em condições normais para continuidade operacional.

Através da implementação desta proposta de controle e automação é possível reduzir o ciclo de cada batelada de 36 horas para 27 horas agregando confiabilidade, qualidade e segurança do processo.

Todas as aberturas ou fechamento de válvulas passam a ser comandadas pelo sistema de controle distribuído através de programações de forma imediata e com retorno para o operador de sala de controle se a mesma está aberta ou fechada no campo através de animação gráfica.

O sistema digital de controle distribuído passa a monitorar as variáveis de processo durante todo o ciclo de batelada e caso tenha alguma anomalia o operador é alertado através de alarmes no painel de operação onde o mesmo consegue fazer intervenções para que o intertravamento não seja acionado paralisando a processo.

4.4 Eliminar risco de acidentes com operadores com uso de automação

Através da implementação do sistema de controle e automação no reator industrial químico não haverá mais a necessidades de manobras do operador em aberturas ou fechamentos de válvulas e nem a leitura de forma constante de variáveis de processo em campo.

Todas as ações de aberturas ou fechamentos de válvulas serão feitas de forma automática através de programações realizadas no sistema digital de controle distribuído reduzindo totalmente o risco de acidentes com os operadores no deslocamento até as válvulas

onde tem o risco de batidas contra devidos muitas das vezes ter de pular tubulações ou fazer uso de escada para chegar até as mesmas.

Da mesma forma não terá mais a necessidade de fazer a leitura em campo das variáveis de processo, pois toda a parte de instrumentação analítica são calibradas com certificados de calibração aprovado pela rede brasileira de calibração de acordo com a incerteza das variáveis medidas de cada processo, onde a engenharia de processo informa o erro máximo aceitável do processo. Desta forma elimina-se o risco de acidentes com os operadores nas leituras de cada ciclo de batelada.

4.5 Aumentar a confiabilidade e qualidade no processo

Com a instalação de válvulas automáticas no lugar das válvulas manuais o reator químico industrial passar a ter maior confiabilidade pois elimina o erro de operação humana onde tinha o risco de abertura de válvula errada ou até meio a não abertura ou fechamento total das válvulas ocasionando atrasos do ciclo final onde muitas das vezes não é possível encontrar este desvio de forma imediata.

Através da instalação de válvulas on off com monitor de posição o operador de sala de controle passa a monitorar a todo o tempo as condições de aberturas ou fechamento de válvulas através de animação gráfica onde o sistema é totalmente confiável agregando segurança, qualidade, confiabilidade e redução significativa de tempo de cada ciclo de batelada.

Todas as variáveis do processo do reator químico industrial como temperatura, pressão, nível e controle de potencial hidrogeniônico passam a ter total confiabilidade devido ser instrumentos modernos com alta tecnologia e todos com certificados de calibração emitidos pela rede brasileira de calibração onde todas as informações são transmitidas de forma imediata ao operador de sala de controle onde é possível o acompanhamento ao longo de todo ciclo de batelada e através destas informações o processo se torna mais seguro e com risco mínimo de erro de medição.

Todo o sequenciamento de ciclo da batelada é feito de forma automática através de previa programação no sistema digital de controle distribuído onde o operador de sala de controle faz o acompanhamento podendo tomar ações caso perceba algum descontrole de processo através de alarmes pré configurados de forma inicial ou dependendo do grau de descontrole o próprio sistema digital de controle distribuído através de intertravamento irá tomar as ações necessárias para garantir a qualidade, confiabilidade e segurança do processo.

4.6 Instalação de instrumentação moderna

Serão instaladas no lugar de válvulas manuais 10 válvulas on off com monitor de posição para garantir a qualidade e segurança de cada ciclo de batelada e com isso diminuir o tempo de ciclo e reduzir custos desnecessários como desperdícios de tempo ou erro em manobras humanas.

Será substituída 01 válvula manual de entrada de nitrogênio para o reator químico industrial e no lugar dela será instalada uma válvula automática on off com monitor de posição onde o operador consegue através de animação gráfica saber se a mesma está aberta ou fechada.

Será substituída 01 válvula manual de entrada de água de processo para o reator químico industrial e no lugar dela será instalada uma válvula automática on off com monitor de posição onde o operador consegue através de animação gráfica saber se a mesma está aberta ou fechada.

Será substituída 01 válvula manual de entrada de água de resfriamento da camisa do reator químico industrial e no lugar dela será instalada uma válvula automática on off com monitor de posição onde o operador consegue através de animação gráfica saber se a mesma está aberta ou fechada.

Será substituída 01 válvula manual de entrada de vapor de aquecimento da camisa do reator químico industrial e no lugar dela será instalada uma válvula automática on off com monitor de posição onde o operador consegue através de animação gráfica saber se a mesma está aberta ou fechada.

Será substituída 01 válvula manual de alívio do reator químico industrial e no lugar dela será instalada uma válvula automática on off com monitor de posição onde o operador consegue através de animação gráfica saber se a mesma está aberta ou fechada.

Será substituída 04 válvulas manual de entrada de matéria prima para o reator químico industrial e no lugar dela será instalada quatro válvulas automáticas on off com monitor de posição onde o operador consegue através de animação gráfica saber se a mesma está aberta ou fechada.

Será substituída 01 válvula manual de fundo do reator químico industrial que realiza a transferência para tancagem de produto final e no lugar dela será instalada uma válvula automática on off com monitor de posição onde o operador consegue através de animação gráfica saber se a mesma está aberta ou fechada.

Será substituído o indicador de pressão analógico de leitura manual em campo por um transmissor de pressão digital que coleta as informações em campo e envia as informações de forma imediata ao operador de sala de controle e também todas as informações de pressão ao longo de todo ciclo de batelada ficará registrado no sistema digital de controle distribuído para possíveis rastreamentos de informações.

Será modificada a forma manual de análise de ph do processo por um transmissor digital que coleta as informações de processo por meio de um eletrodo combinado e envia as informações de forma imediata ao operador de sala de controle e também todas as informações de ph ao longo de todo ciclo de processo ficará registrado no sistema digital de controle distribuído para possíveis rastreamentos de informações.

Será substituído o indicador de temperatura analógico de leitura manual em campo por um transmissor de temperatura digital que coleta as informações em campo e envia as informações de forma imediata ao operador de sala de controle e também todas as informações de temperatura ao longo de todo ciclo de batelada ficará registrado no sistema digital de controle distribuído para possíveis rastreamentos de informações.

Será substituído o indicador de nível de leitura manual em campo por um transmissor de nível digital que coleta as informações em campo e envia as informações de forma imediata ao operador de sala de controle e também todas as informações de nível ao longo de todo ciclo de batelada ficará registrado no sistema digital de controle distribuído para possíveis rastreamentos de informações.

Também terá uma chave de seleção de quatro posições na tela do operador de sala de controle onde é possível saber em que situação o processo se encontra e com isso ter um melhor controle do ciclo de batelada.

4.7 Qualificação de operadores

Todos os operadores estarão preparados na forma de conduzir o ciclo de batelada através de treinamento operacional dedicado ao processo de batelada ministrado pelo departamento de engenharia de processos onde todos irão ter toda instrução operacional na forma teórica e prática.

Este treinamento visa a melhoria constante do processo bem como alcançar a confiabilidade, qualidade e segurança operacional, este treinamento serão sempre ministrados

na necessidade de novos operadores ou em períodos anuais de reciclagem ou quando o processo sofrer qualquer tipo de alteração.

Neste treinamento os operadores de sala de controle e apoio de campo passaram a ter conhecimento de todos os procedimentos relacionados ao processo de batelada do reator químico industrial desde o processo produtivo até mesmo atuações de descontrole das barreiras de proteções.

Todos os operadores treinados receberam um certificado de conclusão de curso e uma credencial onde ele passa a ter autorização para monitorar e controlar todo o processo.

Nenhum operador sem treinamento poderá operar a sala de controle, devido ao controle de qualidade, confiabilidade e segurança que entra em operação para garantir sucesso desta implementação.

4.8 Aumentar a competitividade da empresa para novos negócios

Com o processo totalmente automatizado a empresa passa a ter confiabilidade, qualidade e segurança em seus ciclos de bateladas e a partir desta implementação passar a ser competitiva no mercado para novos negócios.

A partir deste momento a empresa consegue fazer um excelente controle de produção e isso possibilita a empresa através de toda esta inovação oferecer qualidade e confiabilidade para seus clientes em prazos pré-determinados sem ter risco de não entregar seus produtos nos prazos.

A empresa a partir deste investimento torna seu ciclo de bateladas altamente confiável, sem risco de acidentes de processos ou pessoas e respeitando o meio ambiente por ter um processo totalmente controlado por um sistema digital de controle distribuído avançado.

4.9 Diminuir o desperdício e reduzir custos

Com o processo todo automatizado e controlado a empresa não terá mais o desperdício de tempo em manobras operacionais onde muitas das vezes têm o risco de manobras erradas o que ocasiona a parada de processo com perdas de matérias primas e muitas das vezes atraso no retorno de produção ocasionando perdas consideráveis.

Eliminando os desperdícios de manobras ou erro operacionais que leva em média 9 horas ao longo do ciclo de 36 horas de bateladas é possível reduzir os custos em até 25% o que torna o investimento totalmente satisfatório.

Sabemos também que o acidente com pessoas gera um custo elevado para empresa além de perda de clientes e riscos de fechamento da empresa pelo ministério do trabalho, com esta implementação o risco passa a ser controlado de forma confiável trazendo lucro, confiança e credibilidade a empresa junto aos seus clientes.

5. PRAZO PARA IMPLEMENTAÇÃO

Através do memorial descritivo com todas as etapas desta proposta o tempo médio após aprovado todo o investimento para implementação deverá levar em torno de 30 dias corridos.

Toda a implementação será realizada por empresa externa contratada com apoio e acompanhamento da equipe interna de processos, manutenção e automação.

6. CONCLUSÃO

Após concluído toda a implantação desta proposta de controle e automação a empresa passa a ser mais competitiva no mercado brasileiro e internacional por ter investido em novas tecnologias trazendo seu processo de ciclo de batelada para um cenário de confiabilidade, qualidade e segurança, sempre respeitando o meio ambiente.

As empresas que investem em tecnologias conseguem atingir elevados níveis de confiabilidade agregando diversos novos clientes em seu negócio gerando lucro, onde todas as partes envolvidas ficam satisfeitas.

Esta proposta busca a inovação da empresa e compromisso com seus clientes num processo de transformação, sempre focado em seu uma empresa diferenciada no mercado comprometido com seu negócio e tendo como valor a busca incansável de melhores tecnologias de mercado para um melhor atendimento aos seus clientes firmando sempre seu compromisso com o avanço de nossos pais através de seus produtos.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, C. H.; **Noções de automação: AMX Automação Industrial**. Campinas, entre 2001 e 2003. Disponível em: Acesso em: 08, maio, 2003. DA CAS, F.; DA SILVA, M. G.; DA LUZ, D. F.; ASSIS, L.G.; MOURA, R.A.; COSTA, S.A.O; ROQUE, Y.G; VIEIRA, B.A; CAMARGO, J.R.; **Eliminação de riscos de acidentes de processos ou pessoas implantando sistema digital de controle distribuído (SDCD) em reator químico industrial**, IX CICTED, 2020.
- DE PAULA, M.A.B.; SANTOS, E.A.P. **Uma abordagem metodológica para o desenvolvimento de sistemas automatizados e integrados de manufatura**. Revista Produção, v. 18, n. 1, p.8-25, jan./abr. 2008.
- EMERSON PROCESS MANAGEMENT. **Control Valve Handbook**. U.S.A. FISHER CONTROLS INTERNATION LLC 2005.
- FOGLER, H. S.; *Elements of chemical reaction engineering*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- FOGLER, H. S.; *Elements of Chemical Reaction Engineering*. 4th. ed. Massachusetts, Pearson Education, 2006.
- HOUAISS, A.; **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2004.
- ISENMANN, A. F.; **Reatores e Reações Químicas em Escala Industrial** / Armin Franz Isenmann. Timóteo, MG: 1ª Edição. 2018.
- MILAN, G. S.; PRETTO, M. R.; BASSO, L. C.; **Um estudo de caso sobre o funcionamento de um armazém automatizado**. Revista REAd. v. 13, n. 1, jan./abr. 2007.
- MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2.ed. LTC, 2007.
- NAVARRO, D. A.; **Estudo dos fatores para avaliação de projetos na gestão de portfólio em uma empresa de bens de consumo**. Revista de Gestão e Projetos, v.3, n.3, pp. 291-307, set-dez, 2012.
- PAZOS, F.; **Automação de sistemas e robótica**. Axcel Books, 2002.
- PACHECO, D. A. J. **Implicações da redução de setup na produtividade da indústria farmacêutica**. Revista GEINTEC, v. 5,n. 1, p.1764-1779, jan./mar. 2015
- PEREIRA, R. M.; SPRITZER, I. M. de P. A.; **Automação e digitalização em subestações de energia elétrica: um estudo de caso**. Revista Gestão Industrial. v.3, n.4: pp. 147-160, 2007.
- REASON, J.; *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Burlington: Ashgate, 2006.
- REASON, J.; **Modelo do queijo suíço**, 2000.
- ROSÁRIO, J. M.; **Automação Industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009.

SMITH, C. A.; CORRIPIO, A. B. **Principles and Practice of Automatic Process Control. Second edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 1997.**

SOUZA, M.; **Proposta de um Sistema de Gestão Empregando Instrumentação Inteligente e Redes de Campo na Automação do Processo de Tratamento de Água.** Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Citado na página 54. 2006.

YOKOGAWA, **Sistema de Controle de Produção Integrado - Sistema Ágil e inteligente para Configuração e Engenharia,** America Latina, 2008.