**ENGENHARIA E PROJETOS COM FOCO EM SEGURANÇA DE PROCESSO**

Marcio Valerio Santos da Silva, Engenheiro de Segurança do Trabalho da BR Distribuidora

**RESUMO**

Trata-se de trabalho teórico a partir de pesquisa em publicações que abordem as questões descritas no título. O estudoindica as ações em projetos de engenharia que demandem recursos de baixa magnitude para prevenção de acidentes de segurança de processo ou diminuição significativa de seus efeitos (severidade). Especificamente, são identificadas as etapas de execução de um empreendimento onde há melhores oportunidades de inserção de contribuições mais eficazes com foco em gestão de segurança de processo. Também são identificadas tecnologias mais utilizadas que resultam em redução significativa da severidade em cenários acidentais em indústrias que utilizem produtos perigosos. Acrescente-se também a identificação de tecnologias mais utilizadas na especificação de parâmetros de processo que resultam em redução significativa da probabilidade de perda de contenção primária de produtos perigosos.

1. **INTRODUÇÃO**

A gestão de segurança de processo é um tema em crescente desenvolvimento na indústria do petróleo. A indústria química já aplica estes conceitos de maneira madura. De certo, porque seus processos industriais envolvem uma vasta gama de produtos, além de parâmetros de processo (temperatura, pressão) que impõem perigos, os quais levaram a grandes acidentes nas últimas décadas. Em determinado momento, concluiu-se que investir em alternativas em projetos era mais vantajoso do que mitigar as consequências de ocorrências. O projeto é a fase de um empreendimento onde uma ideia conceitual de negócio se traduz em soluções de engenharia descritas numa série de documentos. Diante das diferentes fases do projeto, há um vasto espaço para inclusão de análises de forma obter uma adequada gestão dos riscos. Adiante, trataremos da oportunidade de utilização de uma rota intrinsicamente segura na execução do projeto, para a qual denominaremos “projeto intrinsicamente seguro”.

Um projeto intrinsicamente seguro representa uma abordagem fundamentalmente diferente para a segurança em fabricação e utilização de produtos químicos. O projetista é desafiado a identificar maneiras de eliminar ou significativamente reduzir os riscos, ao invés de desenvolver proteção adicional por sistemas de controle e procedimentos. O projeto intrinsicamente seguro foca na eliminação de perigos, ou minimizá-los de forma significativa, para reduzir consequências potenciais para as pessoas, o meio ambiente, a propriedade e o negócio. O projeto intrinsicamente seguro é considerado ser a maneira mais robusta de lidar com risco de processo. Nos estágios iniciais de projeto, tais medidas tem a oportunidade de proporcionar mais eficácia com emprego de menores recursos, comparando-se com correções implementadas pós construção ou já em fase de operação.

1. **DELIMITAÇÃO DO ESTUDO**

Os profissionais e organizações de projeto de engenharia seguem normas e códigos consagrados nas diversas disciplinas envolvidas. Este estudo não pretende abordar, nem listar normas e códigos de engenharia. Serão apresentados extratos de publicações sobre o tema, cujo teor é a gestão do projeto de engenharia como um processo. Serão inseridas orientações para os profissionais que atuam em segurança de processo, quanto a princípios e estratégias para projetos que aprimorem aspectos de segurança de processo.

1. **REFERENCIAL TEORICO**

Na pesquisa realizada, encontrou-se publicações onde se destaca um guia [1] do organismo norte americano Center for ChemicalProcessSafety (CCPS). Tal livro reúne a experiência desta organização que congrega empresas e profissionais que estudam a segurança de processo, tanto na análise de acidentes ocorridos quanto boas práticas existentes nas empresas. Utilizou-se também artigos, que, na verdade, utilizam os mesmos fundamentos do livro já citado.Foi necessário, também, identificar de que forma os responsáveis por projetos de empreendimentos executam a gestão dos mesmos, onde optou-se pela metodologia FEL.

1. **OBJETIVOS DO TRABALHO**

Apresentar uma abordagem para utilização de rota intrinsicamente segura na execução de projetos, com foco em gestão de segurança de processo, provendo orientações para os profissionais que atuam em segurança de processo, quanto a princípios e estratégias para projetos. Considerar-se-á também a inserção dos estudos de riscos. As duas iniciativas citadas serão conjugadas em fases de execução de empreendimentos industriais que utilizam metodologia FEL.

1. **DESCRIÇÃO DO TRABALHO**
   1. **Princípios e estratégias**

Considerando que o cerne da boa gestão de segurança de processo é evitar perda de contenção de produtos químicos ou perigosos, é fundamental identificar e entender as características de tais produtos. Isto permite estabelecer medidas de engenharia para prevenir ou mitigar as consequências de eventos de perda de contenção. Nos estágios iniciais de projeto, tais medidas tem a oportunidade de proporcionar eficácia com emprego de menores recursos, comparando-se com correções implementadas durante construção e montagem ou já em fase de operação.

Muitas das estratégias de projeto intrinsicamente seguro são específicas da indústria química, mas se aplicam a uma ampla gama de indústrias. Princípios para identificar opções inerentemente mais seguras serão discutidas, a seguir, segundo orientação do CCPS [2] e Overton [3]:

MINIMIZAÇÃO – utilizar inventários menores de produtos perigosos nos processos industriais. A primeira alternativa a se considerar para prover uma planta inerentemente mais segura é buscar redução de inventário de produtos químicos ou perigosos. Nesta situação, mesmo que haja perda de contenção, as consequências serão minimizadas.

SUBSTITUIÇÃO – analisar produtos e matérias primas alternativas para o processo industrial pretendido, selecionando aquelas menos perigosas do ponto de vista da inflamabilidade, reatividade, toxicidade e/ou incompatibilidade.

MODERAÇÃO – utilizar condições de processo mais moderadas, por exemplo, usando diluição de reagentes, catalisadores, temperaturas e pressões menores

SIMPLIFICAÇÃO – projetar instalações que minimizem complexidade, o que proporciona menor probabilidade de erros naoperação.

Hendershot [4],e CCPS [1] ainda nos propõe estratégias para salvaguardas:

INERENTE – abordagem para eliminar ou substancialmente reduzir o perigo, modificando o processo ou materiais para utilização de condições mais favoráveis.

PASSIVO – abordagem de utilização de processos e equipamentos que possam reduzir a consequência ou severidade de um acidente sem funcionamento ativo de qualquer dispositivo, por exemplo, vaso projetado para pressão muito superior aquela de trabalho.

ATIVO - o uso de automação e intertravamentos, por exemplo, impõem a redução na contribuição do erro humano para ocorrência de acidentes.

PROCEDIMENTOS - Não podemos deixar de considerar a adoção de procedimentos padronizados para alcançar os objetivos de segurança de processo.

* 1. **Gerenciamento de projetos**

O projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único, que pode ser tangível ou intangível, segundo Nair [5]. A construção de uma planta industrial, seja indústria química ou petróleo, se enquadra nesta definição. O empreendedor tem o desafio de atender as expectativas de custo, prazo e escopo definidos, de forma a satisfazer o cliente final e as metas da organização. Portanto, a obtenção de sucesso no projeto depende de execução de etapas integradas. Uma das formas de trabalhar desta forma é adotar a metodologia FEL (Front EndLoading), que consiste no processo de validação por etapas ao término de cada estágio de desenvolvimento, no qual são verificados os produtos desenvolvidos em cada etapa e é recomendado ou não prosseguir para a próxima fase, segundo Nair [5]. De forma resumida, as etapas são denominadas FEL 1 , FEL 2 , FEL 3.

FEL 1 – Análise do Negócio ou Estudo de Viabilidade Técnica Econômica – É a fase inicial de desenvolvimento. Etapa onde se identifica a oportunidade de negócio ou se começa a trabalhar a ideia do produto. A ampla maioria dos projetos não passam a fase seguinte.

FEL 2 – Seleção da Alternativa ou Projeto Conceitual – os projetos que passam no portão FEL 1 entram então na etapa de produção do projeto conceitual, onde há uma evolução no desenho do processo e produção de um plano de execução.

FEL 3 – Planejamento da Implantação do empreendimento ou Projeto Básico – etapa onde é produzido o projeto básico que, diferente do projeto conceitual, inclui o maior detalhamento do cronograma físico-financeiro, o layout das instalações, as especificações dos equipamentos, os diagramas de fluxos produtivos e operacionais, entre outros.

* 1. **Técnicas de Análise de Risco X Ciclo de Vida de uma Instalação**

Segundo CCPS [1], uma análise de riscos é um esforço organizado para identificar e avaliar a severidade de perigos em um processo ou uma atividade. Estes estudos promovem informações adicionais para tomadas de decisão no sentido de aumentar a segurança e a gestão dos riscos das atividades. Podem também auxiliar em questões de continuidade operacional, econômicas e de meio ambiente. Tais análises agregam mais valor às organizações na medida que estejam integradas aos sistemas de gestão de segurança de processo. Com esta consideração, as medidas de controle de riscos são incorporadas nas fases de projeto, com a oportunidade de aplicação nos estágios iniciais do gerenciamento de projetos. Engenharia e projeto com foco em segurança de processo devem ser parte integrante do ciclo de vida da instalação industrial. Para tanto, avaliações de risco devem ser inseridas como método utilizado para identificar, avaliar e controlar riscos nos processos industriais. Cada etapa do ciclo de vida da unidade, projeto, construção e fases de operação, demanda uma técnica específica de avaliação de riscos.Com esta abordagem de ciclo de vida, as deficiências e fragilidades podem ser identificadas e tratadas no projeto de engenharia, consequentemente antes da construção e operação de uma instalação industrial.

Na análise de empreendimentos, a Norma CETESB [6] indica técnicas qualitativas de identificação de perigos, quais sejam:

APP (Análise Preliminar de Perigos) – *“... tem o objetivo de identificar os perigos presentes numa instalação que podem ser ocasionados por eventos indesejados”.* Pode ser utilizada em instalações existentes, bem como nas fases iniciais de projeto ou mesmo na etapa de desenvolvimento. Tem foco nos eventos envolvendo falhas intrínsecas de equipamento, sistemas e instrumentos, bem como erros humanos.

HAZOP (Análise de Perigos e Operabilidade) – *“... projetada para estudar possíveis desvios (anomalias) de projeto ou na operação de uma instalação”*. Possui a característica de revisão da planta ou projeto da planta para identificar perigos potenciais ou problemas de operabilidade por sessão do processo ou equipamento. Começa-se o estudo pelo início do processo, prosseguindo a análise no sentido de seu fluxo natural.

WHAT IF (E se?) – O conceito desta análise é realizar minuciosa e sistemática avaliação do processo ou operações com perguntas “ E se?”. Os questionamentos sugerem um evento iniciador e eventualmente uma das falhas que possa ocorrer da sequencia de um evento indesejável. As perguntas e respostas, perigos, consequências e eventuais recomendações são todas organizadas em planilhas.

Alternativamente, o CCPS [1] conceitua:

CHECKLIST - lista escrita de itens ou etapas procedimentais para verificar o grau de adequação de um sistema. Considerando que a lista varia muito em nível de detalhe, usa-se normalmente um documento geral combinado com outro método para levantamento de perigos que o checklist poderia não identificar.

FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas) – tem o propósito de elencar modos e cada efeito potencial de falhas em equipamentos num sistema. Esta análise gera recomendações para incremento na confiabilidade de equipamentos, consequentemente na segurança de processo. O modo de falha descreve como o equipamento pode deixar de fornecer a função que o usuário espera e como solucionar.

AAF (Análise de Árvore de Falhas) – é uma técnica dedutiva que tem foco num evento ou falha de sistema e promove um método para determinação de causas associadas. É frequentemente empregada nas situações onde outra técnica, como FMEA ou HAZOP indicaram um evento ou cenário em particular que necessite de análise mais detalhada em busca de causas. A árvore de falhas é uma representação gráfica entre falhas e uma consequência específica. É utilizada como subsídio de análises quantitativas de risco.

AAE (Análise de Árvore de Eventos) – é uma técnica para estudo de uma sequência de eventos a partir de evento iniciador em particular (causa). Diferente da AAF, identifica uma sequência de eventos a partir de uma determinada causa. Ele é interessante para, por exemplo, análise de ocorrências seguintes ao sucesso ou falha na atuação de sistemas de proteção.

1. **RESULTADOS**

A seguir, apresentar-se-á orientações com foco em aprimoramento de aspectos de segurança de processo em projetos. De forma a melhor planejamento, conjugou-se com as fases FEL.

* 1. **Fase FEL 1**

Nesta fase, a documentação técnica, na maioria das vezes, inexiste, pois o foco é na oportunidade de negócio. Os aspectos a serem considerados na avaliação de passagem de fase são essencialmente comerciais. Há de considerar também que a geração de ideias de negócio é substancial, porém os recursos devem ser racionalizados. Deste modo, muitos projetos não prosseguem para FEL 2. Pelo exposto, esta fase do projeto não é a mais propícia para inclusão de aspectos de segurança de processo quando comparada as demais fases.

* 1. **Fase FEL 2**

Do ponto de vista de projeto inerentemente mais seguros, esta fase do projeto é onde há maior campo para ações eficientes nos aspectos de segurança de processo.

CCPS [2] descreve alguns parâmetros importantes, para análise e seleção de produtos, ou seja, um enfoque na estratégia ”SUBSTITUIÇÃO”, já abordada anteriormente. Ponto de Fulgor (Flash Point – FP) – é a menor temperatura na qual o líquido produz vapor suficiente, em condições de se ignitar por uma fonte de calor. É um importante parâmetro para caracterizar a inflamabilidade de um material.

Temperatura de auto ignição (Auto IgnitionTemperature - AIT) – é a menor temperatura na qual o material se ignitará espontaneamente e continuará a queima sem que seja preciso uma fonte para ignição (chama ou centelha). É um parâmetro importante para se avaliar em projeto, com vistas a evitar cenário de incêndio pós vazamento em contato com superfícies quentes.

Velocidade de queima fundamental (Fundamental BurningVelocity) – é a velocidade fundamental de combustão (ou velocidade da chama) no ar. É uma indicação da taxa de combustão e da energia explosiva potencial para os vapores. É um parâmetro para medir o quanto um combustível tem uma explosão mais energética. Por exemplo, combustíveis com velocidade de combustão fundamental inferior a 45 cm/s (como amônia e metano) são considerados de baixa reatividade, enquanto combustíveis com velocidade de combustão fundamental maior que 75 cm/s (como acetileno, óxido de etileno e hidrogênio) são considerados alta reatividade resultando em uma explosão mais energética. A maioria dos materiais orgânicos exibe uma velocidade de combustão fundamental entre 45 e 75 cm/s e são considerados de média reatividade.

Energia Mínima de Ignição (MinimumIgnition Energy - MIE) – é a mínima quantidade de energia requerida para ignitar um vapor combustível, gás ou nuvem de pó. É um importante parâmetro para definir a complexidade de medidas de controle de fontes de ignição.

Índice de Deflagração (Deflagration Index) - Índice de deflagração é a taxa máxima de aumento de pressão normalizada para o volume do vaso no qual a explosão ocorre. Para um determinado produto químico e geometria do vaso, é razoavelmente constante em um amplo volume. O índice de deflagração normalmente aumenta com o aumento da temperatura inicial e, no caso de poeiras, diminui com o tamanho das partículas. É um importante parâmetro para dimensionamento de dispositivos de alívio em vasos de pressão.

Os valores de concentração ERPG são publicados pela AIHA e utilizados amplamente pela indústria. Permitem uma abordagem simples para graduar o risco tóxico de um material e especificar um critério de concentração acima do qual se supõe que indivíduos expostos estão em perigo. O índice ERPG é dividido em três níveis:

ERPG-1: a concentração máxima no ar abaixo da qual quase todos os indivíduos podem ser expostos por até uma hora sem experimentar outros efeitos, além de efeitos adversos transitórios na saúde ou percepção de odor desagradável.

ERPG-2: a concentração máxima no ar abaixo da qual quase todos os indivíduos podem ficar expostos por até uma hora sem desenvolver efeitos sérios à saúde que possam prejudicar sua capacidade de tomar ações de proteção.

ERPG-3: a concentração máxima no ar abaixo da qual quase todos os indivíduos podem ficar expostos por até uma hora sem desenvolver efeitos de ameaça a vida.

LethalConcentration (LC) – é a concentração de produto químico no ar que mataria um percentual de animais cobaia num dado tempo (usualmente 4 horas). As concentrações aplicadas são LC50 para o percentual de 50% de mortes e LC10 para 10%. A LC50 é usado para comparação de toxicidade entre produtos. Quanto menor a concentração, mais tóxico o material.

Lethal Dose (LD) – é a concentração de material que, exposta de uma só vez, causaria a morte de 50% de um grupo de animais cobaia. Este LD50 é uma forma de medir o potencial tóxico agudo de um material.

Tais características devem ser levadas em conta pela equipe de projeto, pois tem influência na severidade de eventos acidentais. Mesmo nas fases mais iniciais do projeto, sem mesmo um detalhamento, a definição de produtos é uma oportunidade significativa para gestão de risco.Uma vez listadas os parâmetros de cada produto individualmente, a equipe de projeto pode pesquisar alternativas para substituição por outros menos perigosos onde o processo químico assim o permitir.

Cabe destacar que as condições de processo também criam perigos ou os potencializa. A simples foco nas características dos materiais pode levar a eventos indesejados. A água, por exemplo, baseado em suas características, não é classificada com perigo de explosão. No entanto, se o processo opera com temperatura e pressão que excedam seu ponto de ebulição, existe o potencial de explosão do vapor gerado. Do mesmo modo, hidrocarbonetos pesados dificilmente são ignitados em condições ambientes. Ocorre que, se o processo os obriga a operar acima do ponto de fulgor, um volume vazado pode ignitar espontaneamente. Uma vez listadas os parâmetros de cada produto individualmente, a equipe de projeto pode pesquisar alternativas para substituição por outros menos perigosos onde o processo químico assim o permitir.

Nesta fase, é comum haver um diagrama de blocos do processo. Portanto, é possível efetuar a primeira aplicação de técnica de análise de risco. Segundo CCPS [1], as recomendadas são:

- Checklist

- APP

- What-if

- HAZOP

- FMEA

- AAF

- AAE

* 1. **Fase FEL 3**

Nesta fase, o projeto inclui maior detalhamento do layout das instalações, especificações de equipamentos, diagramas de fluxo de processos produtivos e operacionais, entre outros. Ou seja, existe um amadurecimento que traz consigo maior assertividade quanto a identificação de perigos. Segundo CCPS [1], os projetos de engenharia para instalações de processo devem adotar barreiras de proteção, as quais podem ser: preventivas, aquelas que atuam no tempo entre um evento iniciador e a perda de contenção do produto perigoso, evitando-a, ou; mitigadoras, aquelas que atuam após a perda de contenção para redução de potenciais consequências de perdas. Neste tema, CCPS [1] pontua relevância para algumas barreiras:

- Sistema instrumentado de segurança (SIS) que param o processo a partir de uma condição pre-determinada, por exemplo, sobrepressão num reator.

- Sistema ou dispositivos de alivio ou vácuo para manter a integridade de equipamentos, transferindo a energia para outro ambiente seguro

- Isolação de inventário de produto num potencial evento de vazamento para limitar a quantidade dispersa

- Sistemas de detecção e alarme que proveem alertas de modo que aja tempo hábil para ações de controle do processo ou acionamento de pessoal de resposta a emergência

- Proteção de estrutura contra fogo (fireproofing) para suportar a incidência concentrada de calor

- Isolação de sistemas e supressão de explosões e chama para limitar a extensão do acidente consequentemente as consequências de perdas.

- Sistema de combate ou supressão de incêndios

- Controle e direcionamento de efluentes para permitir que tais perdas sejam gerenciadas.

Nesta fase, Segundo CCPS [1], as técnicas de análise de riscos recomendadas são:

- Checklist

- What-if

- HAZOP

- FMEA

- AAF

- AAE

1. **CONCLUSÕES**

A utilização de projetos intrinsicamente seguros se demonstra muito eficaz na gestão de riscos de segurança de processo. Nos estágios iniciais de empreendimentos, existem a possibilidade de escolha de tecnologias e produtos potencialmente menos perigosos, já que são etapas de discussões ainda conceituais (fase FEL 2). Os parâmetros químicos devem ter atenção pois carregam características inerentes que podem agravar eventos acidentais. Tem-se, então, a oportunidade de aplicação de conceitos de segurança de processo mais cedo do que usualmente se implementa nas indústrias. A aplicação de técnicas de análise de riscos é oportuna como método utilizado para identificar, avaliar e controlar riscos nos processos industriais. Cada etapa do ciclo de vida da unidade, projeto, construção e fases de operação, demanda uma técnica específica de avaliação de riscos. A adoção de gestão de projeto por fases com a metodologia FEL auxilia no planejamento de ações voltadas para o foco de segurança de processo.

1. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] CCPS - Center for Chemical Process Safety – “Guidelines for Engineering Design for Process Safety” – Versão 1.1, Editora Wiley – (2012)

[2] CCPS - Center for Chemical Process Safety – “CHEF Manual –Chemical Hazards Engineering Fundamentals” – Second edition(2018)

[3] Overton, Tim e King, George M. – “Inherently Safer Technology: An Evolutionary Approach”, site da internet www.interscience.wiley.com,publicadoem 14/03/2006

[4] Hendershot, Dennis C. – “An Overview of Inherently Safer Design”, site da internet www.interscience.wiley.com,publicadoem 06/01/2006

[5] Nair, Alzira e Junior, Deraldo – “Front EndLoading – FEL para Análise de Viabilidade de Empreendimentos de Capital” - Instituto de Educação Tecnológica Pós-graduação Engenharia de Custos e Orçamento - Turma AUEG T07 (2015)

[6] CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – “Norma Técnica P4.261 – Risco de Acidente de Origem Tecnológica – Método para Decisão e Termos de Referência” – Segunda edição(2011)