



Caderno de boas práticas
**DISPERSÃO DE GASES
E ALOCAÇÃO DE DETECTORES
PARA A INDÚSTRIA DE
ÓLEO E GÁS**

2026

abpip
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS
PRODUTORES INDEPENDENTES
DE PETRÓLEO E GÁS

Apoio:

SEPRO
ENGENHARIA DE RISCOS



Expediente

Presidência Executiva

Marcio Felix (EnP Energy)
Presidente

João Vitor Moreira (PetroReconcavo)
Vice-presidente

Diretoria Executiva

Alex Almeida (BW Energy)
Diretor Titular

Emiliano Gomes (PRIO)
Diretor Titular

Jorge Boeri (BRAVA Energia)
Diretor Titular

Aurélio Amaral (Eneva)
Diretor Suplente

Braulio Bastos (Trident Energy)
Diretor Suplente

Conselho Fiscal

Caetano Machado (Mandacaru Energia)
Conselheiro Titular

Leonardo Caldas (Perenco)
Conselheiro Titular

Alexandra Garchet (Origem Energia)
Conselheira Suplente

Secretaria Executiva

Lucas Mota de Lima
Gerente Executivo

Kidja Frazão
Gerente de Suporte à Gestão

José Chacon
Coordenador de Comunicação

Gabriel Caldas
Analista Legal e Regulatório

Rafaela Covra
Analista Adm. Financeiro

Gabriela Bueloni
Analista de Assuntos Corporativos

Carolina Dornelles
Analista de Regulação de Gás Natural

Bruna Albuquerque
Assistente de Comunicação

Eduarda Ferreira
Estagiária de Comunicação

Kleber Almeida
Analista de Dados

Simone Azevedo
Assessora de Imprensa

Marcus Deois
Assessor Parlamentar

Ficha técnica

Coordenação

Gabriela Bueloni
(ABPIP)

Marcelo Jesus
(Eneva)

Diego Cavassani
(Imetame Energia)

Emerson Tomasoni
(SEPRO Engenharia)

Desenvolvimento

Ana Paula Chaves
(Carmo Energy)

Alberto de Carvalho
(ANP)

Cintya Luana de Oliveira Moura
(Mandacaru Energia)

Ernesto Vargas
(Petrosynergy)

Flavia da Silva Martins
(Origem Energia)

Ian Costa
(Eneva)

Iara Guimaraes Batista
(PetroReconcavo)

Luana Oliveira
(Eneva)

Luiz Gustavo Petra de Barros
(Origem Energia)

Lydia Santos
(Eneva)

Mayara Ricelly De Oliveira Leite
(PetroReconcavo)

Maysa Montenegro
(Energizzi)

Mychelli Andrade
(Carmo Energy)

Thom Nora
(Brava Energia)

Tiago Marques
(Mandacaru Energia)

Ulisses Rodrigues
(Petrosynergy)

Wagner Bonomo
(Imetame Energia)

Diagramação

Bruna Albuquerque
(ABPIP)



Índice

Caderno Dispersão de gases

- 09** Introdução
- 11** Arcabouço metodológico
- 14** Etapa 1
Identificando a necessidade do estudo de dispersão de gases
- 16** Etapa 2
Desenvolvendo o estudo de dispersão de gases
- 23** Etapa 3
Avaliação e posicionamento dos detectores fixos de gás
- 28** Etapa 4
Tecnologias e boas práticas de configuração
- 36** Referências bibliográficas
- 37** Anexos

Glossário

Alocação de Detectores: Posicionamento estratégico de detectores de gás para otimizar a cobertura e garantir a detecção eficaz de vazamentos.

Hidrocarbonetos: Compostos orgânicos formados por átomos de carbono e hidrogênio, frequentemente encontrados em petróleo e gás.

H₂S (Sulfeto de Hidrogênio): Gás tóxico e inflamável, subproduto comum na produção de petróleo e gás.

LII (Limite Inferior de Inflamabilidade): A menor concentração de um gás ou vapor inflamável no ar que pode propagar uma chama na presença de uma fonte de ignição.

IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health): Concentração de uma substância que representa uma ameaça imediata à vida ou à saúde, ou que pode causar efeitos irreversíveis à saúde.

CFD (Dinâmica de Fluidos Computacional): Ferramenta de simulação computacional utilizada para modelar o comportamento de fluidos, incluindo a dispersão de gases em ambientes complexos.

APR (Análise Preliminar de Riscos): Metodologia de análise de riscos qualitativa para identificar perigos e eventos indesejados em fases iniciais de um projeto.

HAZOP (Hazard and Operability Study): Estudo sistemático e estruturado para identificar potenciais desvios de projeto e operacionais que podem levar a riscos.

FGS (Fire and Gas Systems): Sistemas de detecção de fogo e gás, essenciais para a segurança em instalações industriais.

Sensores Eletroquímicos: Detectores de gás que operam através de uma reação química entre o gás-alvo e um eletrólito, gerando uma corrente elétrica proporcional à concentração do gás.

Sensores de Oxidação Catalítica (Catalytic Bead): Detectores de gás que utilizam o princípio da combustão, onde o gás inflamável reage com uma pérola catalisadora aquecida, alterando sua resistência elétrica.

Sensores Infravermelhos Pontuais (Point IR): Detectores de gás que utilizam a absorção de luz infravermelha para detectar a presença de hidrocarbonetos.

Sensores Infravermelhos de Visada (Open Path / Visada): Detectores de gás que utilizam um feixe de luz infravermelha para monitorar a concentração média de gás ao longo de um caminho estendido.

Detectores Acústicos / Ultrassônicos (UGLD): Detectores que identificam vazamentos de gás pressurizado através do ruído de alta frequência gerado.

Lógica de Votação: Configuração de sistemas de detecção onde múltiplos detectores precisam acionar um alarme antes que uma ação de segurança seja iniciada, visando reduzir alarmes espúrios.

1ooN (One out of N): Lógica de votação onde a ativação de um único detector entre N detectores é suficiente para acionar uma ação.

2ooN (Two out of N): Lógica de votação onde a ativação de dois detectores entre N detectores é necessária para acionar uma ação.

LEC (Lista de Elementos Críticos): Lista de equipamentos e sistemas considerados críticos para a segurança operacional de uma instalação.

LTM (Lista de Tarefas de Manutenção): Lista detalhada de tarefas de manutenção e inspeção para equipamentos, incluindo parâmetros de aceitação.

VCE (Vapor Cloud Explosion): Explosão em nuvem de vapor, que ocorre quando uma nuvem de gás inflamável se acumula e é acionada por uma fonte de ignição.

PFDs (Fluxogramas de Processo): Diagramas que mostram o fluxo principal de um processo, incluindo equipamentos e linhas de processo.

P&IDs (Fluxogramas de Engenharia): Diagramas detalhados que mostram a instrumentação e tubulação de um processo.

Cromatografia Gasosa: Técnica analítica usada para separar e analisar compostos voláteis em uma amostra de gás.

Executante do estudo: É o responsável pela execução do estudo de dispersão de gases, podendo ser uma empresa contratada ou colaborador(es) interno(s) da operadora.

Operadora: É a empresa responsável pela operação da instalação.

ERPG-3: Nível de Exposição de Resposta de Emergência - Nível 3, que representa a concentração máxima no ar abaixo da qual quase todos os indivíduos podem ser expostos por até 1 hora sem sentir ou desenvolver efeitos fatais sobre a saúde.

SO₂ (Dióxido de Enxofre): Gás tóxico, produto de combustão do H₂S.

Despressurização: Redução controlada ou acidental da pressão em um sistema ou equipamento.

Flare: Dispositivo de segurança utilizado para queimar gases excedentes ou indesejados em instalações industriais.

Vent Atmosférico: Aberturas ou tubulações para liberação controlada de gases ou vapores para a atmosfera.

Nuvens de Interesse: Diâmetros de nuvens de gás inflamável que, se inflamadas, podem gerar uma Explosão em Nuvem de Vapor (VCE) com picos de sobrepressão significativos (Ver Tabela 1 deste caderno).

Sobrepressão: Aumento da pressão acima da pressão atmosférica normal, geralmente associado a explosões.

CAPEX (Capital Expenditure): Despesas de capital, ou seja, investimentos em bens de capital.

OPEX (Operational Expenditure): Despesas operacionais, ou seja, custos contínuos para operar um produto, negócio ou sistema.

Comissionamento: Processo de verificação e teste de um sistema ou equipamento após a instalação para garantir que ele funcione conforme o projeto.

Trip Espúrio: Desligamento ou interrupção não intencional de um sistema ou processo, geralmente causado por falhas ou leituras incorretas de sensores.



1. Introdução

A produção de petróleo e gás envolve a manipulação de hidrocarbonetos e gases associados sob diferentes condições de pressão, temperatura e regimes operacionais. Em situações de perda de contenção, essas condições podem resultar na liberação accidental de substâncias inflamáveis e/ou tóxicas para a atmosfera. Nesse contexto, a avaliação da dispersão desses gases constitui uma etapa fundamental para o gerenciamento dos riscos tecnológicos inerentes às atividades de exploração e produção.

Os estudos de dispersão de gases têm como finalidade estimar o comportamento de nuvens formadas a partir de vazamentos accidentais, considerando as propriedades físico-químicas das substâncias, as condições operacionais do processo, os parâmetros meteorológicos e as características do ambiente no qual a instalação está inserida. Adicionalmente, tais estudos subsidiam a avaliação da eficiência e da adequação dos sistemas de detecção de gases.

1.1. Objetivo

Este caderno de boas práticas tem por objetivo estabelecer diretrizes técnicas para a condução de estudos de dispersão de gases, visando à padronização de critérios para a alocação de detectores, ao aumento da rastreabilidade das análises e à transparência metodológica.

Dessa forma, busca-se assegurar que os estudos de dispersão sejam conduzidos de maneira tecnicamente consistente e proporcional à complexidade dos cenários avaliados, contribuindo para a prevenção de acidentes ampliados e para a proteção da vida, do meio ambiente e do patrimônio.

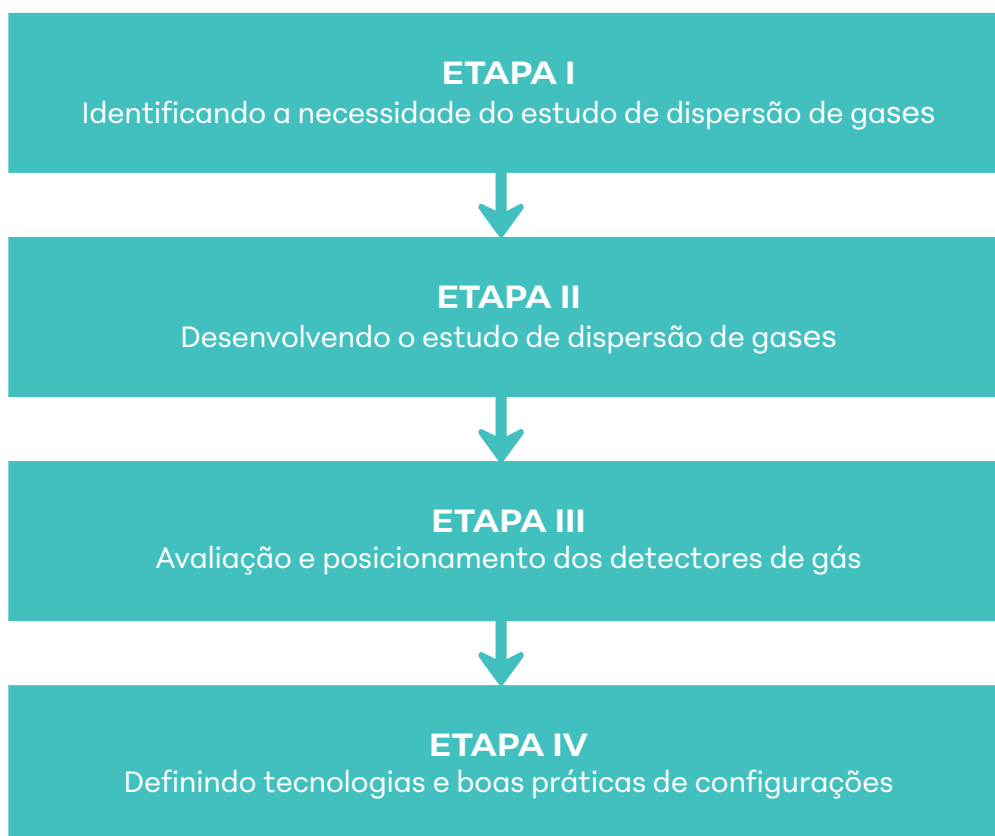
Ressalta-se que este documento não possui caráter normativo ou compulsório, constituindo-se como um guia de boas práticas. A metodologia aqui apresentada tem caráter orientativo e não substitui os requisitos estabelecidos em normas, regulamentos aplicáveis ou nas diretrizes internas de segurança dasadoras, às quais cabe a definição final dos critérios e abordagens a serem adotados.

1.2. Estrutura do caderno de boas práticas

Com base no contexto apresentado, o próximo capítulo aborda os fundamentos teóricos relacionados aos estudos de dispersão de gases e à alocação de detectores, com base em literatura técnica especializada.

Na sequência, são descritas as etapas recomendadas para o desenvolvimento dos estudos de dispersão e para a avaliação e definição do posicionamento dos detectores de gases.

Essas etapas seguem uma sequência lógica, conforme sintetizado no fluxograma a seguir.



Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões e recomendações às operadoras de óleo e gás para a condução de estudos de dispersão de gases e definição do posicionamento de detectores, quando aplicável.

2. Arcabouço metodológico

Este capítulo é dedicado à apresentação do arcabouço metodológico para apresentar as bases técnicas para necessidade de desenvolvimento de estudos de dispersão de gases e alocação de detectores de gases.

2.1. Normas e Guidelines

ANP Nota Técnica Nº 06/2023: Lições Aprendidas em Auditorias *Onshore*

O objetivo desta nota é apresentar desvios críticos e graves identificados em auditorias da ANP e propor recomendações para eliminar o Risco Grave e Iminente (RGI) no mercado *onshore*.

- **Aplicação de Estudos de Dispersão:** A ANP recomenda a realização de estudos complementares, como **estudos de dispersão** e análise quantitativa de risco, para fundamentar a adequação do sistema de detecção e garantir que não haja exposição de pessoas a atmosferas explosivas. Estes estudos são essenciais para justificar inclusive a eventual ausência de sistemas de detecção em instalações isoladas.
- **Alocação de Detectores:** O operador deve prover soluções de engenharia para detecção de vazamentos que não exponham a força de trabalho a situações de risco intolerável, utilizando **detectores fixos como primeira barreira**. A alocação de sensores deve ser validada por meio de estudos de risco que considerem a dispersão dos gases na planta.

ISA-TR84.00.07-2018: Eficácia de Sistemas de Fogo e Gás (FGS)

Este relatório técnico fornece a base para avaliar a eficácia dos sistemas FGS utilizando uma **abordagem baseada em desempenho**, integrando-os ao ciclo de vida de segurança funcional.

- **Aplicação de Estudos de Dispersão:** Essencial para a definição do Perigo de Base de Projeto (*Design-Basis Hazard*), como o tamanho da nuvem de gás que o sistema deve ser capaz de detectar. A modelagem de dispersão de gases é indicada para ambientes internos ou complexos de forma a avaliar o comportamento da nuvem de gás.
- **Alocação de Detectores:** Utiliza a técnica de **FGS Mapping** para verificar se as metas de desempenho (cobertura geográfica ou por cenário) foram atingidas. O *layout* deve considerar a densidade do gás, obstruções e a lógica de votação necessária para reduzir o risco ao nível tolerável.

CCPS: Monitoramento Contínuo para Liberações de Materiais Perigosos

Publicado pelo *Center for Chemical Process Safety*, este guia auxilia na seleção e posicionamento de sensores para a detecção rápida de liberações de gases.

- **Aplicação de Estudos de Dispersão:** A modelagem de consequências e dispersão é usada para entender o risco dos cenários de liberação e identificar orientações de vazamento de difícil detecção. A fonte observa que, para o *layout* inicial, não é necessário um estudo profundo, mas sim uma visão geral do comportamento do vapor.
- **Alocação de Detectores:** Define três abordagens principais: **monitoramento da fonte** (próximo a equipamentos críticos), **monitoramento volumétrico** (em áreas congestionadas) e **monitoramento de perímetro/caminho de viagem** (em rotas de fuga ou limites da planta).

BS 60080:2020: Atmosferas Explosivas e Tóxicas – Mapeamento de Detecção de Perigos

Esta norma britânica provê orientações detalhadas sobre o posicionamento de dispositivos de detecção de chama e gás através de técnicas de mapeamento (*mapping*) assistidas por *software*.

- **Aplicação de Estudos de Dispersão:** A modelagem de dispersão é tratada como um dado de entrada essencial para o mapeamento baseado em cenários e volumétrico. O entendimento do estado físico do fluido, pressão e temperatura é crucial para prever o comportamento da nuvem e onde ela irá se acumular.
- **Alocação de Detectores:** A alocação deve ser orientada por uma **filosofia de F&G**, considerando se o objetivo é a proteção de pessoal, ativos ou continuidade de negócios. Devem-se considerar fatores práticos como densidade do gás (gases pesados requerem detectores baixos), obstruções físicas e padrões de ventilação.

API RP 14C: Análise, Projeto, Instalação e Teste de Sistemas de Segurança em Instalações Offshore

Esta norma apresenta uma abordagem sistemática e comprovada para o projeto de sistemas de segurança em **plataformas offshore**, focando na proteção de pessoal, ambiente e patrimônio contra ameaças do processo de produção.

- **Aplicação de Estudos de Dispersão:** A norma indica que cálculos de dispersão são fundamentais para cenários envolvendo gases tóxicos como o H_2S . Na ausência desses estudos para gases combustíveis, prescreve-se o uso de uma nuvem de gás padrão

de 5 metros de diâmetro para o cálculo do espaçamento entre detectores.

- **Alocação de Detectores:** Sensores de gás devem ser instalados em todas as áreas fechadas classificadas e em áreas abertas onde vazamentos possam escalar para eventos maiores. Recomenda-se a metodologia de mapeamento de detectores para otimizar a cobertura em geometrias irregulares.

API RP 55: Operações em Plantas de Processamento de Gás Envolvendo Ácido Sulfídrico (H_2S)

O foco desta prática recomendada é a operação segura em ambientes com presença de H_2S , visando minimizar a exposição de trabalhadores e do público ao gás e ao seu produto de combustão, o SO_2 .

- **Aplicação de Estudos de Dispersão:** A fonte fornece uma metodologia de triagem para estimar o **raio de exposição** em planos de resposta a emergência, utilizando modelos de dispersão de gases. O uso de modelagem é recomendado para prever o impacto das nuvens sob diferentes condições meteorológicas e taxas de liberação.
- **Alocação de Detectores:** Os sistemas de monitoramento contínuo devem incluir alarmes visuais e sonoros visíveis em toda a área de trabalho. Detectores devem ser posicionados estrategicamente em **fontes potenciais de vazamento**, como selos de compressores, e em entradas de ar de instalações fechadas.

HSE RR1123: Sistemas Fixos de Detecção de Gás Combustível em Instalações Offshore

Este relatório técnico revisa boas práticas para a otimização e avaliação da eficácia de redes de detecção em zonas de liberação abertas em instalações *offshore*.

- **Aplicação de Estudos de Dispersão:** Recomenda o uso de **Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD)** para examinar a formação de nuvens em módulos naturalmente ventilados, permitindo avaliar a probabilidade de detecção das redes de sensores.
- **Alocação de Detectores:** O posicionamento deve considerar o **grau de congestionamento** dos equipamentos, com espaçamentos menores (ex: 5 metros) em áreas densas para garantir que nuvens perigosas sejam detectadas antes de atingirem tamanhos críticos de explosão.

3. Etapa 1

Identificando a necessidade do estudo de dispersão de gases

A necessidade da elaboração do estudo de dispersão de gases objetivando a alocação de detectores de gases poderá ocorrer mediante a ocorrência de **qualquer uma** das seguintes origens:

- a. **Avaliação de dispersão de gás de vent atmosférico, dispensor atmosférico e descarga de psv para atmosfera** ou;
- b. **Avaliação semiquantitativa** seguindo os critérios da ISA-TR84.00.07-2018 - Anexo A apresentar Grau de Cobertura $\geq 60\%$ ou;
- c. **Concentração de H_2S** presente na corrente oleosa ou gasosa ≥ 100 ppm (IDLH).

3.1 Avaliação de dispersão de gás de vent atmosférico, dispensor atmosférico e descarga de PSV para atmosfera

O objetivo do estudo de dispersão para os vent atmosférico, dispensor atmosférico ou PSV com descargas operacionais para a atmosfera é avaliar o comportamento da nuvem em áreas operacionais e outros locais de passagem ou permanência de pessoas na instalação, bem como, evitar interferências indesejadas no sistema de detecção de gás, no caso de descargas operacionais de gases.

3.2 Avaliação semiquantitativa de grau de cobertura

Para avaliar a necessidade de elaboração do estudo de Dispersão de Gases em instalações Existentes deverá ser adotada uma avaliação semiquantitativa seguindo os critérios da ISA-TR84.00.07-2018 - Anexo A.

O objetivo desta técnica é avaliar a eficácia da cobertura de detecção, estabelecendo uma meta de cobertura aceitável (critério de aceitabilidade), de acordo com o tipo de processo tema do estudo.

A avaliação semiquantitativa é recomendada preliminarmente, através dos documentos de referência (**Item 4.2.1**), pelo executante do estudo de dispersão de gases e apresentados para análise e validação por parte da operadora. A validação dos dados que compõe a avaliação semiquantitativa deve ser realizada por profissionais que tenham conhecimento sobre a operação da instalação.

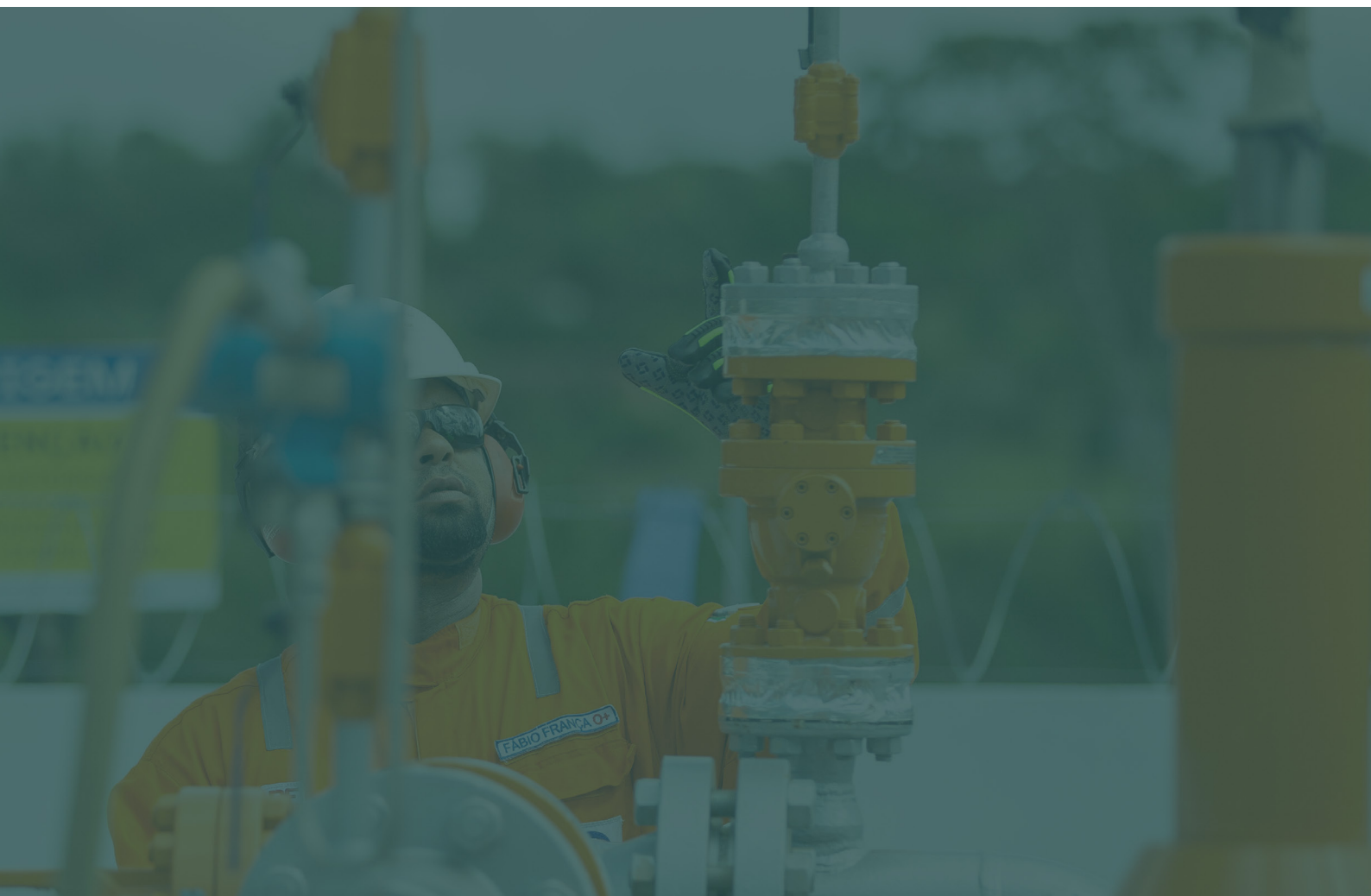
Para os casos em que o resultado apresentar grau de desempenho sem classificação, ou seja, cobertura de detecção menor do que 60%, ou seja $< 0,5$, **não há obrigatoriedade** para elaboração de estudo de dispersão de gases, pois entende-se que não haverá benefícios significativos com a implantação de um sistema de detecção de gases.

A metodologia do critério semi-quantitativo é detalhada através do Anexo A deste caderno de boas práticas. A avaliação deverá ser evidenciada através de um relatório técnico e assinado pelo responsável técnico.

3.3 Concentração de H_2S

A análise de dispersão de gases tóxicos, objetivando avaliação de propagação de H_2S na atmosfera, somente se comprova efetiva, para concentrações iguais ou superiores a 100 ppm de H_2S na corrente de petróleo ou gás natural, sendo essa a concentração equivalente ao IDLH (imediatamente perigoso à vida ou à saúde), onde se acredita que quase todos os indivíduos poderiam ficar expostos por até 1 hora sem sentir ou desenvolver efeitos fatais sobre a saúde, de acordo com a ERPG-3.

Em caso de presença de H_2S em concentrações iguais ou superiores a 100 ppm, na corrente gasosa ou líquida, é recomendado a realização de estudo de dispersão de gases. Para as instalações com concentrações inferiores a 100 ppm de H_2S não há recomendação para a elaboração do estudo de dispersão de gases.



4. Etapa 2

Desenvolvendo o estudo de dispersão de gases

4.1 Escopo do estudo

O estudo deve avaliar a dispersão de gases decorrentes dos cenários de **vazamento de gás e de descargas operacionais de gases** (dispersor ou vent atmosféricos e apagamento do *flare*) para fornecer informações consistentes para:

- a. O projeto dos sistemas de detecção de gases, incluindo a seleção, posicionamento e quantificação de detectores de forma a viabilizar alarmes e as ações de segurança da unidade, no caso de vazamentos;
- b. O projeto de posicionamento adequado de vent atmosférico de equipamentos e dispersor atmosférico com descarga em áreas operacionais e outros locais de passagem ou permanência de pessoas na instalação, bem como, evitar interferências indesejadas no sistema de detecção de gás, no caso de descargas operacionais de gases.

4.2 Aspectos gerais do estudo

4.2.1 Documentos de referência

Os documentos técnicos a seguir devem ser fornecidos pela operadora para o executante do estudo nas suas versões mais recentes, para que possa ser desenvolvido o estudo de dispersão de gases. Recomenda-se que no relatório do estudo contenha a revisão de cada documento utilizado.

- a. Fluxogramas de Processo (PFDs);
- b. Fluxogramas de Engenharia (P&IDs);
- c. Cromatografia gasosa;
- d. Histórico De Concentração De H_2S , Quando Aplicável.
- e. Relatórios de análise de risco (APR e HAZOP) já realizadas para a instalação;
- f. Estudo de dispersão de gases anterior, quando aplicável;
- g. Arranjo geral da instalação;
- h. Memorial descritivo da instalação, ou documento similar que contemple os dados de processos necessários para desenvolvimento do estudo.

4.2.2 Condições que influenciam na análise

- a.** A geometria e arranjo físico da instalação avaliada;
- b.** As condições ambientais a serem utilizadas nas simulações - dados meteorológicos, conforme Item 4.3.4;
- c.** A composição dos fluidos considerando a presença e concentração de componentes inflamáveis, combustíveis, tóxicos e/ou asfixiantes;
- d.** As condições de vazamento ou de descarga para o ambiente (taxas de vazamento, temperatura dos gases, direção de vazamento e fase do fluido);
- e.** O congestionamento das áreas por equipamentos, estruturas e tubulação entre outros itens.

4.2.3 Ferramentas para desenvolvimento do estudo

O estudo de dispersão de gás deve ser desenvolvido por ferramentas voltada para análise de consequências e dispersão de gases, aplicável em todos os estágios de projeto e operação. Abaixo seguem alguns *softwares* habilitados para estudos de dispersão de gases.

- PHAST / SAFETI (DNV);
- EFFECTS (GEXCON);
- SOFTWARES CFD (ANSYS, KFX, FLACS, dentre outros).

Ambientes *onshore*

Para ambientes *onshore*, que em grande parte dos casos apresentam menor densidade de equipamentos e baixo grau de congestionamento, a utilização de modelos matemáticos de dispersão simplificados (como modelos integrais ou fenomenológicos) é tecnicamente aceitável. A definição da abordagem de modelagem deve seguir a filosofia de segurança da operadora, mediante avaliação das particularidades de cada cenário. Assim, é possível adotar *softwares* baseados em modelos integrais, adequados para dispersão em campo aberto ou com pouca obstrução (ex.: PHAST/SAFETI e EFFECTS), quanto *softwares* que empregam a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) para áreas específicas que demandem análise tridimensional detalhada (ex.: FLACS, KFX, ANSYS, entre outros).

Ambientes *offshore*

Para ambientes *offshore*, caracterizados por *layouts* altamente compactos e congestionamento significativo (como por exemplo em plataformas do tipo jaqueta e FPSOs), os modelos simplificados perdem a validade, pois não conseguem representar a complexa interação da nuvem de gás com os obstáculos e a ventilação local. Nesses casos, é imperativa a utilização de *softwares* baseados em modelos matemáticos de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD). A abordagem tridimensional (3D) do CFD é fundamental para capturar os efeitos de

turbulência e confinamento, garantindo a precisão e a confiabilidade dos resultados de dispersão no campo próximo (*near-field*).

4.3 Metodologia para as simulações computacionais

4.3.1 Seleção dos cenários

Para a seleção dos cenários de vazamento de gás a serem avaliados no estudo de dispersão de gases é recomendável, preferencialmente, que sejam oriundos de vazamentos identificados a partir dos cenários da Análise Preliminar de Riscos (APR), podendo ainda ser utilizados cenários específicos do Estudo de Perigo e Operabilidade (HAZOP), quando aplicável. São recomendados, no mínimo, que os seguintes cenários sejam avaliados no estudo de dispersão de gases, desde que estejam mapeados pela análise qualitativa de risco e que tenha sido selecionado pela avaliação semiquantitativa de grau de cobertura como cenário aplicável (Conforme Item 3.2):

- **Pequenos vazamentos:** Em função do caráter preventivo do sistema de detecção, onde se busca a detecção de vazamentos em seu estágio inicial, os cenários selecionados, para fins de projeto do sistema de detecção, devem ser simulados preferencialmente considerando pequenos vazamentos, considerando os dados de processo fornecidos pela operadora. Para estes cenários, o objetivo é avaliar se o vazamento é capaz de atingir a nuvem de interesse (Tabela 1).
- **Grandes vazamentos:** Os cenários enquadrados na APR como grande vazamento, serão simulados adotando mecanismos de ruptura de equipamentos e/ou linha ou taxas de vazamentos específicas, considerando dados de processo fornecidos pela operadora. Para estes casos, o foco principal é a proteção das **Áreas Sensíveis (conforme Item 4.3.2)** bem como avaliar se o vazamento é capaz de atingir a nuvem de interesse (Tabela 1).
- **Dispersão através de vent / Dispersor e cenário de apagamento de flare.** Estes cenários, mesmo que não enquadrados na APR ou HAZID serão simulados dados de processo fornecidos pela operadora. Para estes casos, o foco principal é a proteção das **Áreas Sensíveis (conforme Item 4.3.2)** bem como avaliar se o vazamento é capaz de atingir a nuvem de interesse (Tabela 1).

Cenários acidentais que não tenham sido previamente avaliados na APR, identificados durante o desenvolvimento do estudo, também podem ser considerados no estudo de dispersão de gases, tais como cenários originados por alterações no projeto e alterações operacionais.

As simulações realizadas para uma área não podem ser utilizadas em outras áreas independentemente das similaridades das condições de processo e arranjo. Isto significa que cada área deve possuir suas próprias simulações.

4.3.2 Áreas sensíveis

São consideradas **áreas sensíveis** as áreas que por suas características possuem uma alta probabilidade de incidentes graves, como:

- **Áreas administrativas** (sala do operador e de controle do painel, oficinas e laboratórios, salas administrativas) – Proteção das áreas habitadas.
- **Equipamento de emergência** (Casa de bombas do SCI e Gerador de Emergência) – Proteção de equipamentos que possam operar em caso de emergência.
- **Sala de painéis elétricos, subestações elétricas, grandes equipamentos com motores a combustão e estacionamentos de veículos** – Proteção de áreas com potenciais fontes de ignição.

4.3.3 Dados de processo

Todos os casos simulados deverão ter as respectivas informações dos fluidos empregados na simulação e apresentadas no relatório, devendo, no mínimo, ser indicadas: composição da corrente, pressão, temperatura, volume do equipamento (quando aplicável) e código do documento de referência (por exemplo: PFDs, P&IDs, folhas de dados, balanço de massa e energia, isométricos de linhas) e demais propriedades que permitam rastrear a origem e pertinência das informações utilizadas.

É recomendado que seja realizado visita em campo objetivando a verificação e veracidade das informações, bem como a análise crítica de possíveis interferências e áreas críticas que não seja visualizada simplesmente em documentações técnicas.

4.3.4 Condições meteorológicas

O levantamento e a análise das condições meteorológicas são etapas cruciais para a precisão dos estudos de dispersão de gases. As orientações a seguir visam garantir a representatividade e a robustez dos dados utilizados:

- **Levantamento de dados meteorológicos:** Os dados meteorológicos devem ser preferencialmente obtidos na locação da instalação em estudo. Na ausência de dados locais representativos, devem ser utilizadas informações de estações meteorológicas de órgãos competentes (ex.: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET), selecionando a estação mais próxima que ofereça dados representativos da região, não se limitando a distância.

- **Período de amostragem:** Recomenda-se a utilização de, no mínimo, os últimos 03 (três) anos de dados meteorológicos horários ou diários, a fim de capturar a variabilidade sazonal e interanual, aumentando a sensibilidade e a confiabilidade da análise estatística da dispersão.
- **Compleitude dos dados:** O percentual de completude dos dados da estação meteorológica deve ser de no mínimo de 90%, conforme orientação da US EPA (*Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications* - EPA-454/R-99-005). Caso a estação apresente um percentual de medição inferior a 90% do tempo no período selecionado, é recomendável estender o período de amostragem até que a completude mínima seja alcançada ou considerar a utilização de dados de uma estação meteorológica alternativa mais próxima e com maior completude.

A partir dos dados meteorológicos obtidos e tratados, é recomendável que o estudo de dispersão de gás aborde as seguintes condições climáticas:

a. Condição predominante:

- Velocidade do vento média;
- Classe de estabilidade Pasquill da atmosfera calculado;
- Temperatura e Umidade Relativa média, do vento calculado.

b. Condição de calmaria:

- Velocidade do vento ≤ 1 m/s;
- Classe de estabilidade Pasquill "F";
- Temperatura e Umidade Relativa média, do vento calculado.

c. Direções dos ventos:

Ambientes onshore

- Recomenda-se a simulação de, no mínimo, 4 (quatro) direções de vento cardeais (Norte, Leste, Sul e Oeste) ou as direções predominantes identificadas na rosa dos ventos. O foco deve ser nas direções que direcionam a nuvem de gás para áreas sensíveis (conforme Item 4.3.2).
- Para cada direção, pode-se adotar uma única velocidade de vento representativa do pior cenário (maior alcance), considerando que, em campo aberto, a taxa de diluição é fortemente influenciada pela velocidade do vento.

Ambientes offshore

- Devido à complexidade e ao congestionamento, recomenda-se a simulação de, no mínimo, 8 (oito) direções de vento (Norte, Nordeste, Leste, Sudoeste, Sul, Sudoeste, Oeste, Noroeste) para uma cobertura mais abrangente dos possíveis impactos.

- A seleção da velocidade do vento para cada direção deve considerar o pior cenário de dispersão. Em ambientes *offshore*, a interação do vento com a estrutura da plataforma é complexa e não linear, exigindo uma análise cuidadosa para determinar a velocidade de vento mais crítica para cada direção.

Considerações adicionais:

A operadora poderá estabelecer premissas específicas em sua filosofia de segurança para a definição das direções dos ventos e demais condições climáticas, desde que estas sejam tecnicamente justificadas e devidamente documentadas, garantindo a segurança das operações e a proteção do meio ambiente e das comunidades adjacentes.

4.3.5 Taxa de vazamentos

Para as simulações dos cenários recomenda-se que sejam empregadas as seguintes metodologias para determinação do vazamento:

Pequenos vazamentos:

- **Opção 01:** Adotar taxas de vazamentos 0,1 a 4,0 kg/s.
- **Opção 02:** Adotar diâmetros representativos para perda de contenção, como furo equivalente a 5% do diâmetro da linha (CETESB, 2011) ou com diâmetro entre 1 a 5 mm.
- **Opção 03:** Adotar diâmetros representativos conforme diretrizes interna da filosofia de segurança da empresa operadora, desde que haja referência técnica para tal.

Grande vazamentos:

- **Opção 01:** Adotar taxas de vazamentos superior a 4,0 kg/s.
- **Opção 02:** Adotar diâmetros representativos para perda de contenção, como ruptura equivalente a 100% do diâmetro da linha (CETESB, 2011) ou com diâmetro entre 25 a 50 mm.
- **Opção 03:** Adotar diâmetros representativos conforme diretrizes interna da filosofia de segurança da empresa operadora, desde que haja referência técnica para tal.

Dispensar atmosférico e Apagamento de flare:

Adotar as seguintes taxas de vazamento:

- Pior cenário de despressurização, representando um grande vazamento e;

- Liberação constante equivalente a uma taxa de 0,1 kg/s (menor taxa de liberação com potencial para causar ferimentos graves ou fatalidade em conformidade com o Relatório do HSE RR1123).

4.3.6 Contorno de interesse

Para determinação do alcance da nuvem de gás, recomenda-se que as simulações considerem a variação da concentração volumétrica dos gases, devendo ser apresentados os contornos das nuvens nos limites de interesse em função do tipo de gás, sendo:

- **Para gás inflamável** deverão ser apresentadas as nuvens em concentração de 20%, 50% e 100% do LII.
- **Para gás tóxico (H_2S)** deverão ser apresentadas as nuvens em concentração de 8 ppm, 50 ppm (50% do IDLH) e 100 ppm (IDLH).

4.4 Resultados do estudo de dispersão de gases

Os resultados do estudo de dispersão de gases deverão ser consolidados em relatório técnico, contendo as seguintes informações:

- a. Objetivos e escopo;
- b. Caracterização dos fluídos de interesse do estudo;
- c. Metodologia empregada no estudo;
- d. Cenários acidentais simulados, contendo seus respectivos inputs para simulações;
- e. Resultados gráficos de dispersão de gases (gráficos, mapas, por exemplo);
- f. Conclusões e recomendações;
- g. Anexos (saídas/outputs do software).

Por se tratar de uma análise de risco, é imprescindível que o estudo de dispersão de gases seja aprovado por pessoa designada pela operadora da Instalação com nível gerencial adequado.

5. Etapa 3

Avaliação e posicionamento dos detectores fixos de gás

O método de avaliação para a instalação e posicionamento de detectores de gás, objetivando o sucesso da detecção em caso de vazamento, foi baseado em 02 (dois) métodos, conforme orientações do *Guideline Continuous Monitoring for Hazardous Material Release* (CCPS, 2009), sendo:

- **Monitoramento do trajeto e do receptor:** Objetivando avaliar se a nuvem de gás atinge as áreas sensíveis (Conforme Item 4.3.2).
- **Monitoramento volumétrico e da fonte:** Objetivando a proteção da área de processo, em condições de nuvem de interesse, o que poderia acarretar uma explosão em nuvem de vapor (VCE).

Ponto de atenção:

Posicionar detectores em um padrão de grade aleatório é normalmente menos eficaz do que utilizar os métodos de posicionamento descritos, devido a:

- Detectores localizados próximos a fontes de liberação têm menor probabilidade de detecção devido a efeitos de momento pós liberação, que podem impulsionar o gás para cima, para baixo ou geralmente para longe dos detectores. Os métodos de posicionamento listados acima evitam isso, fornecendo espaço suficiente entre as fontes de liberação e os detectores para permitir que os gases se acomodem, aumentando a probabilidade de contato com um dos detectores.
- O posicionamento de detectores muito próximo a uma fonte de liberação raramente é apropriado, visto que a maioria dos sistemas de processo está sob pressão. Como resultado, a maioria das liberações terá uma área transversal muito pequena próxima à sua fonte e será transportada sobre, abaixo ou para longe dos detectores próximos devido ao seu momento. Os detectores devem ser posicionados em uma determinada distância, que seja superior ao Limite Superior de Inflamabilidade (LSI), da fonte de liberação, a fim de maximizar o potencial de contato com um sensor. A modelagem de dispersão de gás deve ser empregada para determinar tais distâncias.

A necessidade de instalação de detectores fixos de gás, considerando a metodologia apresentada neste caderno e boas práticas, ocorrerá basicamente em uma das seguintes condições:

a. Nuvem de gás capaz de atingir área(s) sensível(eis) nos seguintes contornos:

- **Gás inflamável:** 50% do LIL, concentração que representa “Gás Confirmado”, necessitando ações de caráter emergencial.
- **Gás tóxico (H₂S):** 8 ppm atingir áreas habitadas ou 50 ppm, que representa 50% do IDLH, atingir rotas de fuga (quando a instalação possuir concentração > 100 ppm de H₂S na corrente de produção).

b. Nuvem de gás inflamável, para pequenos e/ou grandes vazamentos, capaz de atingir a nuvem de interesse conforme estabelecido pela Tabela 1.

O estudo de dispersão de gases avalia nos cenários de vazamento de gás e de descarga operacionais de gases (dispersor atmosférico, flare e vent atmosférico) a dispersão da pluma e suas características (direção e alcance), verificando se a nuvem de gás inflamável e/ou tóxico atinge áreas sensíveis ([conforme 4.3.2](#)) e/ou nuvens de interesse de gás inflamável.

Desta forma, os reportes da ISA-TR84.00.07-2018 e HSE RR1123 definiram diâmetros de nuvens para cada condição de congestionamento, em que a nuvem formada seja capaz de gerar uma Explosão em Nuvem de Vapor (VCE) alcançando picos de sobrepressão de 0,15 bar na atmosfera, sendo essa sobrepressão suficiente para gerar consequências indesejadas a força de trabalho e no ativo. As nuvens de interesse são apresentadas pela Tabela 1.

Tabela 1: Nuvens de interesse para alocação dos detectores fixos de gás.

Filosofia de Detecção	Aplicação Típica	Nuvem de Interesse
Detector acúmulos de gás em quantidades perigosas, se inflamados, podem causar impacto na vida, na segurança e no ativo.	Dentro de áreas de processo de alto confinamento e congestionamento (UPGN, Galpão de Compressores, etc)	Nuvem de 5 metros ou volume esférico equivalente a uma nuvem de 5 metros de diâmetro.
	Dentro de áreas de processo de moderado confinamento e congestionamento (Área aberta com vários equipamentos de processo próximos, distância < 5 metros entre eles)	Nuvem 7 a 8 metros ou volume esférico equivalente a uma nuvem de 7 a 8 metros de diâmetro.
	Dentro de áreas de processos de baixo confinamento e congestionamento (Exemplo: Estações Coletoras, Geradores de Vapor, etc)	Nuvem de 10 metros ou volume esférico equivalente a uma nuvem de 10 metros de diâmetro.

Fonte: Adaptado da Tabela 6 da ISA-TR84.00.07-2018 e Tabela 4.1 do Relatório RR1123 HSE.

5.2 Metodologias de posicionamento de detectores fixos de gás

As premissas para posicionamento dos detectores fixos de gás estão divididas por estratégia de proteção, sendo:

- Proteção de áreas de processos;
- Proteção de áreas sensíveis;
- Proteção de áreas congestionadas.

5.2.1 Posicionamento dos detectores para proteção da área de processo

Em função das simulações realizadas, o posicionamento de detectores deve ser determinado considerando:

- a. Devem ser alocados a quantidade de detectores capaz de atingir a meta de cobertura requerida, conforme a aplicação do Anexo A deste caderno de boas práticas ([Conforme Item 3.2](#)), para cada cenário simulado.
- b. Para atingimento da meta de cobertura de detecção requerida, deverá ser posicionado ao menos 01 (um) detector fixo de gás nas direções de vento de interesse, de forma a atender a cobertura.

Exemplo: Cenário de vazamento no Vaso Depurador SD-123, com meta de cobertura de detecção requerida de 60%, considerando as maiores probabilidades dos ventos, sendo: Norte (30%), Noroeste (20%) e Oeste (10%), será necessário o posicionamento de 03 detectores de gás, totalizando a cobertura de detecção de 60%.

- c. O detector deverá ser posicionado dentro do contorno de interesse da nuvem de gás, sendo:
 - **Gás inflamável (CH_4):** 20% do Limite Inferior de Inflamabilidade (LII).
 - **Gás tóxico (H_2S):** 8 ppm.

5.2.2 Posicionamento dos Detectores para Proteção de Áreas Sensíveis

Em função das simulações realizadas, o posicionamento de detectores deve ser determinado considerando:

- a. Devem ser alocados os detectores de gás entre o ponto de vazamento e a área a ser protegida, ou seja, no caminho entre a fonte e o receptor, preferencialmente próximo da área

a ser protegida. Para o caso da obstrução de rotas de fuga, por mais de uma nuvem de gás, deverão ser posicionados detectores em cada ponto de obstrução da rota de fuga.

- b. Ações adicionais tais como a parada do sistema/equipamento em questão devem ser avaliadas caso a caso.

Nota

Para as bombas de combate a incêndio, quando a dispersão de uma nuvem de gás inflamável em concentração igual ou superior a 50% do LII for capaz de atingir a casa de bombas, recomenda-se avaliar, entre outras, as seguintes medidas:

Para novos projetos: Localizar a casa de bombas de combate a incêndio em área não suscetível à dispersão de gases inflamáveis em concentrações perigosas.

Para instalações existentes:

- Instalar detector(es) de gás na área da casa de bombas de combate a incêndio;
- Avaliar, por meio de análise de risco específica, a implementação da lógica de inibição da partida automática das bombas de combate a incêndio quando houver detecção confirmada de gás inflamável na área, considerando os impactos dessa filosofia sobre a disponibilidade do sistema de combate a incêndio;
- Avaliar a construção de uma casa de bombas enclausurada (paredes e cobertura), dotada de sistema de ventilação e/ou exaustão adequado, de forma a reduzir a probabilidade de ingresso e acúmulo de gás inflamável no interior da edificação.

- c. O detector deverá ser posicionado dentro do contorno de interesse da nuvem de gás, sendo:

- **Gás Inflamável (CH_4):** 20% do Limite Inferior de Inflamabilidade (LII).
- **Gás Tóxico (H_2S):** 8 ppm (quando a instalação possuir concentração > 100 ppm de H_2S na corrente de produção)

5.2.3 Posicionamento dos Detectores para Proteção de Áreas Congestionadas

- a. Para locais com congestionamento, devem ser instalados detectores de gás quando as porções obstruídas de volume permitam a formação de uma nuvem de gás inflamável de diâmetro

de 5 a 6 metros, representando aproximadamente um volume de 100 m^3 , de forma a cobrir tais locais. A alocação dos detectores de gás deve considerar as propriedades do gás e as possíveis fontes de acúmulo, podendo estar localizados mais próximos do piso ou do teto.

- b. O posicionamento dos detectores deverá formar uma malha de detecção que possa cobrir a distância equivalente ao diâmetro de 5 metros da nuvem de gás.
- c. O detector deverá ser posicionado dentro do contorno de interesse da nuvem de gás, sendo:
 - **Gás Inflamável (CH_4):** 20% do Limite Inferior de Inflamabilidade (LII).
 - **Gás Tóxico (H_2S):** 8 ppm (quando a instalação possuir concentração $> 100 \text{ ppm}$ de H_2S na corrente de produção).



6. Etapa 4

Tecnologias e boas práticas de configurações

A detecção de gases em ambientes industriais é uma camada crítica de segurança para a proteção de ativos e vidas humanas. Este capítulo apresenta um detalhamento das principais tecnologias de detecção fixa, avaliando seus princípios de funcionamento, aplicações e os custos associados ao ciclo de vida de cada solução. Ainda, este capítulo apresenta recomendações para as configurações dos detectores e suas respectivas ações.

6.1 Tecnologias dos detectores de gases

As tecnologias de detecção variam conforme a natureza do gás (inflamável ou tóxico) e as condições ambientais onde o monitoramento é necessário.

6.1.1 Sensores eletroquímicos

Os sensores eletroquímicos operam através de uma reação química entre o gás-alvo e um eletrólito contido em uma célula. Esta reação gera uma corrente elétrica proporcional à concentração do gás presente no ambiente.

- **Gases alvo:** Principalmente gases tóxicos (H_2S e NH_3) e oxigênio (O_2).
- **Vantagens:** Alta sensibilidade para medições em partes por milhão (ppm), baixo consumo de energia e excelente seletividade para gases específicos.
- **Limitações:** Vida útil curta (geralmente 2 a 3 anos), sensibilidade a variações extremas de temperatura e umidade, e risco de “envenenamento” ou saturação do eletrólito.

6.1.2 Sensores de oxidação catalítica (*Catalytic Bead*)

Esta tecnologia utiliza o princípio da combustão. O gás inflamável entra em contato com uma pérola catalisadora aquecida, causando uma oxidação que altera a resistência elétrica de um circuito (Ponte de *Wheatstone*).

- **Gases alvo:** Gases combustíveis e inflamáveis (0-100% LEL).
- **Vantagens:** Tecnologia robusta, detecta quase todos os gases inflamáveis e possui baixo custo de aquisição inicial.

- **Limitações:** Requer a presença de oxigênio para funcionar, é vulnerável a agentes contaminantes (silicones, chumbo) que desativam o catalisador e exige calibrações frequentes.

6.1.3 Sensores infravermelhos pontuais (*Point IR*)

Diferente dos catalíticos, os sensores IR utilizam a absorção de luz infravermelha em comprimentos de onda específicos para detectar a presença de hidrocarbonetos.

- **Gases alvo:** Hidrocarbonetos inflamáveis (Metano, Propano, Butano) e Dióxido de Carbono (CO_2).
- **Vantagens:** Imune a envenenamento químico, funciona em ambientes sem oxigênio (inertes), vida útil longa (>10 anos) e possui rotinas de autoteste (*failsafe*).
- **Limitações:** Não detecta hidrogênio (H_2) e possui um custo inicial superior aos sensores catalíticos.

6.1.4 Sensores infravermelhos de visada (*Open Path / Visada*)

Esta tecnologia utiliza um par composto por um transmissor e um receptor separados por longas distâncias (até 120 metros ou mais). O feixe de luz infravermelha monitora a concentração média de gás ao longo de todo o caminho da visada.

- **Gases alvo:** Hidrocarbonetos inflamáveis.
- **Vantagens:** Cobre grandes perímetros com poucos dispositivos, resposta extremamente rápida e alta confiabilidade em áreas abertas sujeitas a ventos fortes.
- **Limitações:** Exige alinhamento preciso entre transmissor e receptor, e o custo por unidade é significativamente mais alto.

6.1.5 Detectores acústicos / Ultrassônicos (UGLD)

Diferente das outras tecnologias, os detectores ultrassônicos não “leem” a concentração do gás, mas sim “ouvem” o ruído de alta frequência gerado por um vazamento de gás pressurizado.

- **Gases alvo:** Qualquer gás pressurizado (independente da composição química).
- **Vantagens:** Detecção instantânea na velocidade do som, não depende do deslocamento da nuvem de gás para o sensor, e é imune a ventos fortes.

Limitações: Não mede a concentração (não indica se está no LEL), requer pressão mínima no vazamento (geralmente >2 bar) e pode sofrer interferência de ruídos ultrassônicos operacionais.

6.1.6 Análise comparativa das tecnologias

A escolha da tecnologia ideal depende diretamente do setor industrial e do risco específico presente no local.

Tabela 2: Análise comparativa das tecnologias de detecção

Tecnologia	Principais aplicações	Custos associados		
		Investimento inicial (CAPEX)	Manutenção (OPEX)	Vida útil média
Eletroquímico	Foco na detecção de H ₂ S (estações coletoras, poços, plataformas, etc)	Baixo	Alta (Troca de sensor a cada 2 anos)	2 a 3 anos
Catalítico		Baixo	Moderada (Calibração trimestral)	3 a 5 anos
IR Pontual	Plataformas de petróleo, dutos de transporte, estações coletoras ou compressoras, área de poços e ambientes com gases corrosivos ou inertes	Médio / Alto	Baixa (Limpeza de lentes e calibração anual)	>10 anos
IR de Visada	Perímetros de plantas industriais, linhas de dutos e grandes parques de tanques	Alto	Baixa (Verificação de alinhamento)	>10 anos
Acústico	Áreas com alta pressão	Alto	Baixa (Teste de som)	>10 anos

6.1.7 Conclusão

Para monitoramento de **gases tóxicos**, a tecnologia **eletroquímica** continua sendo a referência pela sua sensibilidade. Já para **gases inflamáveis**, a tendência de mercado é a substituição de sensores catalíticos por **infravermelhos** (Pontuais ou de Visada), visando maior confiabilidade e menor custo operacional a longo prazo. A escolha entre Pontual e Visada deve ser baseada na geometria da área: áreas densas com obstáculos pedem detectores pontuais, enquanto perímetros abertos são mais eficientemente protegidos por sistemas de visada

6.2 Configurações recomendadas

6.2.1 Gases inflamáveis

No caso de detectores de gás inflamável, recomenda-se que ocorram alarmes no console do

operador da área envolvida para início das ações de segurança, sempre que forem detectados os seguintes alarmes:

Alarme alto (H): Nível de Alarme - atua como aviso de um problema potencial que requer investigação.

Exemplo de configuração: Detectores fixos pontuais - 10 a 20 % do Limite Inferior de Inflamabilidade (LII):

Alarme muito alto (HH): Nível crítico - aciona resposta de emergência, como evacuação ou desligamento (ou ambos).

Exemplo de configuração: Detectores fixos pontuais - 25 a 50 % do Limite Inferior de Inflamabilidade (LII):

Um dos princípios que devem balizar a escolha do nível de ação é a de que este não deve ser em 100% do LII, pois, neste caso, a mistura inflamável já estaria formada, e qualquer fonte de ignição dentro desta nuvem causaria o incêndio ou a explosão.

6.2.2 Gases tóxicos

No caso de detectores de gás tóxico, recomenda-se que ocorram alarmes no console do operador da área envolvida para início das ações de segurança, sempre que forem detectados os seguintes alarmes:

Alarme alto (H): Nível de Alarme - atua como aviso de um problema potencial que requer investigação.

Exemplo de configuração para H_2S : Detectores fixos pontuais - 8 a 15 ppm.

Alarme muito alto (HH): Nível Crítico - aciona resposta de emergência, como evacuação ou desligamento (ou ambos).

Exemplo de configuração H_2S : Detectores fixos pontuais - 50 ppm (50% do IDLH).

6.3 Ações de mitigação

A eficácia do sistema de detecção fixa de gases também está relacionada com a capacidade dos elementos de mitigação (por exemplo, sistema de água contra incêndio, sistema de ventilação, isolamento do processo) de funcionar de uma forma que reduza as consequências perigosas. As ações de mitigações podem incluir:

- a. Ações de *Shutdown* (Intertravamento);
- b. Controle automático de fontes de ignição (desenergização elétrica, etc);
- c. Ativar alarmes notificando a força de trabalho para possível evacuação da instalação;
- d. Ativação do sistema de dilúvio para dispersão o gás e suprimir a queima do gás.

Quanto às ações de *Shutdown* (Intertravamentos), após a avaliação da necessidade de instalação de detectores fixos, e em caso afirmativo, recomenda-se que seja realizado uma avaliação para quais detectores fixos de gases podem se enquadrar o intertravamento. **A avaliação deve ser embasada por uma análise de risco para essa tomada de decisão**, conforme aplicação da Avaliação Semiquantitativa apresentada pelo Anexo A deste caderno, de forma a proteger a instalação e os colaboradores, não expondo-os a nuvem de gás inflamável e/ou tóxico.

Entretanto, cabe ressaltar que o intertravamento de detectores de gás com controles e desligamentos automáticos de processo pode representar a ocorrência de *trip* espúrios, acarretando perda de produção e em outros casos um risco maior em muitas aplicações do que o próprio risco de liberação de gás. Isso pode tornar o processo suscetível a interrupções devido a ativações inadvertidas de detectores e/ou induzir condições severas de processo que podem ameaçar a integridade do sistema. Os detectores de gás devem estar sempre em um sistema controlado (exigindo que pelo menos dois detectores disparem o alarme antes de iniciar qualquer ação) se forem intertravados com controles e desligamentos automáticos de processo.

Para tal, será necessário adotar as lógicas de votação. Os detectores deverão constar ações de intertravamento com lógica de 1ooN, sendo $N \geq 1$ ou 2ooN, sendo $N \geq 3$. Vale salientar que a abordagem de 2ooN, sendo $N \geq 3$, trará os seguintes benefícios para a operadora:

- a. Reduzir significativamente a ocorrência de *trip* espúrios, que pode acarretar a perda de produção e consequentemente receitas;
- b. Garantir a possibilidade de contingências em caso de falha de um dos detectores, reduzindo a quantidade de sobressalentes (podendo reduzir a lógica para 1ooN até que seja restabelecido o detector inibido).

Neste contexto, recomenda-se que a Operadora desenvolva uma análise de *Trip* Espúrio, verificando a necessidade ou não de implementação de uma lógica de votação 2ooN, considerando principalmente os custos de implementação vs o risco aceito para *trip* espúrio. Cabe ressaltar que a lógica de votação 1ooN, sendo $N=1$, não permite a inibição de nenhum dos sensores, se não houver sobressalente.

No entanto, a votação pode não ser necessária quando for demonstrado que os detectores/sistemas são robustos e altamente confiáveis ou quando as consequências de alarmes falsos/

desligamentos não forem significativas.

A lógica de votação poderá ser considerada para detectores de gás em posições diferentes, desde que a nuvem de gás seja capaz de atingi-lo em nível de intertravamento ou alarme para a lógica requerida.

6.4 Requisitos recomendados para garantia da disponibilidade do sistema de detecção fixo de gases

6.4.1 Comissionamento

Após a instalação e configuração do sistema de detecção de gases, recomenda-se que seja realizado testes de operabilidade do sistema, garantindo que o mesmo tenha sido comissionado conforme requisitos de projeto, objetivando a garantia da disponibilidade do sistema na etapa de *startup*.

6.4.2 Requisitos para operação e manutenção

A seguir são apresentadas recomendações para requisitos para operação e manutenção do sistema de detecção de gases, objetivando a garantia da disponibilidade do sistema durante o ciclo de vida da instalação.

- a. O sistema de detecção de gases, desde os detectores, lógica e elementos finais de intertravamento, bem como as devidas sirenes, deverão compor a Lista de Elementos Críticos (LEC) de segurança operacional, e serem gerenciados como tal, dentro do sistema de gestão da companhia.
- b. Em caso de falha de qualquer um dos elementos do sistema de detecção de gases que comprometa a sua disponibilidade, é obrigatório que seja aplicado medidas de contingenciamento dentro do sistema de gestão da operadora.
- c. As inspeções e manutenções dos equipamentos que compõem o sistema de detecção de gases deverá seguir as orientações do fabricante, bem como as boas práticas da engenharia de segurança de processo.
- d. É recomendado que o plano de manutenção e inspeção dos equipamentos contenha uma Lista de Tarefas de Manutenção (LTM), contendo cada etapa a ser verificada e executada, bem como o respectivo parâmetro de aceitação.

7. Conclusão

O presente caderno consolida diretrizes técnicas fundamentais para a condução de estudos de dispersão de gases, desempenhando um papel estratégico na gestão de riscos em instalações de óleo e gás. Sua principal relevância está na padronização metodológica, garantindo que os estudos sejam realizados de forma consistente, rastreável e tecnicamente robusta, independentemente da complexidade do cenário analisado.

Ressalta-se, contudo, que este documento não possui caráter normativo ou força de lei, constituindo-se como um guia de boas práticas. Sua aplicação não é obrigatória, cabendo a cada operadora avaliar criticamente a adoção das diretrizes aqui apresentadas, em consonância com seus requisitos internos, normas aplicáveis e particularidades operacionais.

Nesse contexto, é fundamental que as premissas adotadas em cada estudo sejam devidamente justificadas e compatíveis com a metodologia selecionada, garantindo sua adequação ao objetivo da análise. Adicionalmente, cada avaliação deve considerar as características específicas da instalação, tais como configuração física, condições operacionais, grau de confinamento e ventilação, de modo a assegurar que os resultados obtidos sejam representativos e aplicáveis à realidade da planta.

Ao estruturar o processo desde a identificação de cenários em estudos qualitativos (HAZID, HAZOP, APR) até a modelagem da dispersão e aplicação de critérios normativos, o caderno promove uma abordagem integrada entre segurança de processo, engenharia e operação. Essa integração é essencial para assegurar que os cenários modelados sejam realistas e representativos das condições operacionais, evitando análises simplificadas ou desconectadas da realidade da planta.

Outro aspecto central é a qualificação técnica das premissas utilizadas, como definição de taxas de vazamento, caracterização físico-química dos gases, condições meteorológicas e efeitos de ventilação. Esses elementos são determinantes para a confiabilidade dos resultados e, quando tratados de forma estruturada, reduzem significativamente as incertezas associadas à dispersão de nuvens inflamáveis ou tóxicas.

O caderno também promove o alinhamento com referenciais técnicos amplamente reconhecidos (como API, ISA, HSE e BS), reforçando a aderência às boas práticas internacionais. Esse alinhamento contribui para a robustez técnica dos estudos e pode facilitar processos de auditoria, licenciamento e demonstração de conformidade regulatória, quando aplicável.

Por fim, destaca-se que a aplicação das diretrizes aqui apresentadas possibilita a tradução

dos resultados de modelagem em decisões de engenharia, tais como:

- a.** Posicionamento e cobertura de detectores de gás;
- b.** Definição de filosofias de detecção (detecção precoce ou por acúmulo);
- c.** Estabelecimento de níveis de alarme e lógica de votação;
- d.** Medidas de mitigação (por exemplo, sistema de parada de emergência e isolamento e evacuação).

Dessa forma, o caderno se configura como uma ferramenta de apoio técnico à tomada de decisão, contribuindo para o aprimoramento contínuo da gestão de riscos e para a prevenção de cenários envolvendo incêndios, explosões e exposição a gases perigosos, **sem, contudo, substituir a responsabilidade das Operadoras quanto à definição e implementação de suas próprias diretrizes e critérios de segurança.**



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP Nota Técnica Nº 06/2023: Lições Aprendidas em Auditorias Onshore.

ISA-TR84.00.07-2018: Eficácia de Sistemas de Fogo e Gás (FGS).

CCPS (Center for Chemical Process Safety): Monitoramento Contínuo para Liberações de Materiais Perigosos.

BS 60080:2020: Atmosferas Explosivas e Tóxicas – Mapeamento de Detecção de Perigos.

API RP 14C: Análise, Projeto, Instalação e Teste de Sistemas de Segurança em Instalações Offshore.

API RP 55: Operações em Plantas de Processamento de Gás Envolvendo Ácido Sulfídrico (H_2S).

HSE RR1123: Sistemas Fixos de Detecção de Gás Combustível em Instalações Offshore.

CETESB, 2011: Mencionado no contexto de determinação de taxas de vazamento para furos equivalentes.

ISA-TR84.00.07-2018 - Anexo A: Avaliação Semiquantitativa de Grau de Cobertura.

US EPA - EPA-454/R-99-005: Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications.

9. ANEXOS

- **ANEXO A:** Avaliação semiquantitativa de riscos para determinação do grau de cobertura.
- **ANEXO B:** Fluxograma de tomada de decisões.



ANEXO A

Avaliação semiquantitativa para determinação do grau de cobertura

39

Introdução

39

Metodologia aplicada

47

Registros



1. Introdução

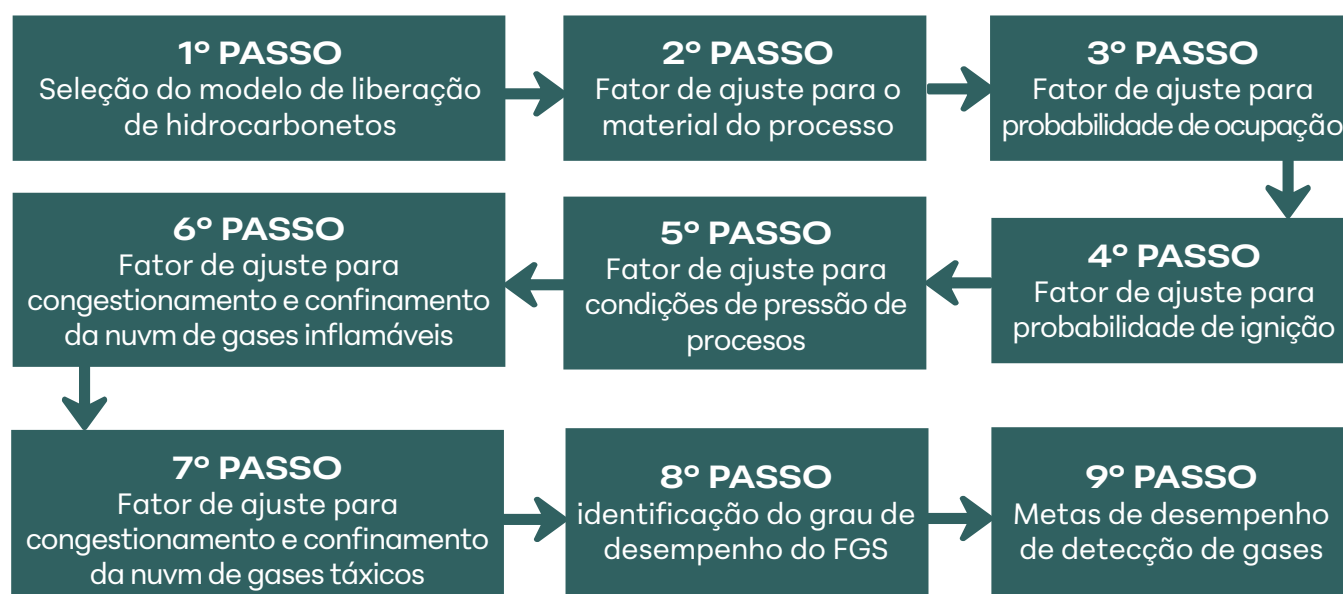
As metas de desempenho do Sistema de Fogo e Gás (FGS) definem a capacidade de uma função do FGS detectar, alarmar e, se necessário, agir para mitigar as consequências de um incêndio ou liberação de gás mediante uma condição de demanda. Conceitualmente, uma instalação de maior risco deveria exigir níveis mais elevados de desempenho; enquanto uma instalação de menor risco deverá permitir níveis mais baixos de desempenho, para que os recursos do FGS possam ser efetivamente alocados.

2. Metodologia aplicada

Os fatores numa análise semiquantitativa que produz metas de desempenho para FGS devem ser calibrados com base na avaliação de cenários de perigo típicos, consequências, probabilidades e meta de redução de risco para a instalação sob avaliação. A capacidade deste método de atingir o nível desejado de redução de risco depende da consistência das condições do processo e do equipamento com as premissas utilizadas para desenvolver as metas de desempenho.

Este anexo apresenta metodologia semiquantitativa que atribui um sistema de pontuação desenvolvido para uma instalação de processamento de hidrocarbonetos com riscos de incêndio, gás combustível e gás tóxico H_2S . Este documento tem a finalidade de estabelecer metas de desempenho de cobertura do detector FGS. A referência para elaboração deste documento é o Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018. A classificação de riscos é uma função do equipamento, perigos, consequências, probabilidade, ocupação e fatores especiais. Essa classificação requer uma avaliação de fatores por equipamento.

A metodologia aplicada segue os passos elencados pela Figura 1:



1º PASSO: SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO

Nesta etapa é atribuída uma pontuação, considerando a probabilidade padrão de liberação de hidrocarbonetos para cada tipo de equipamento de processamento normalmente encontrado em uma instalação industrial.

A Tabela 1 apresenta os valores extraídos e adaptados do Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018:

Tabela 1: Pontuação de ajuste para probabilidade de liberação de hidrocarbonetos para os principais itens de equipamentos de processo

Item de equipamento	Pontuação de ajuste
Trocador de calor casco e tubo	2
Trocador de Calor de Placa e Estrutura	3
Trocador de Calor Refrigerado a Ar	2
Coluna/Torre/Contator	2,5
Compressor/Expansor	3
Vaso/Reator de Pressão	2
Bomba Centrífuga	3
Bomba Alternativa	3
Tanque de Armazenamento Atmosférico	1
Tanque de Armazenamento de LP	1
Aquecedor Aceso	2
Lançador/Receptor de PIG	2
Bomba de Depósito/Reservatório	1
Coletor de Tubulação	1
Segmento de Tubo Soldado Único	1
Árvore de Natal (Cabeça de Poço)	2

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

2º PASSO: FATOR DE AJUSTE PARA O MATERIAL DE PROCESSO

Este fator atribui uma pontuação de ajuste de consequência, em complemento à Tabela 1, com base na fase do material no equipamento de processo. As pontuações levam em conta a consequência inicial e a probabilidade básica de uma liberação que poderia resultar em um risco significativo de incêndio, gás combustível ou gás tóxico. A Tabela 2 apresenta os valores:

Tabela 2: Pontuação com base na consequência do tipo de material do processo

Fase de material de processo	Pontuação de ajuste
Líquidos estáveis	1
Líquido volátil	2
Gás	3

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

3º PASSO: FATOR DE AJUSTE PARA PROBABILIDADE DE OCUPAÇÃO

A pontuação básica de probabilidade deve ser ajustada conforme necessário para refletir o ambiente de ocupação próximo ao item principal do equipamento. Isto deve ser baseado no impacto para os ocupantes do perigo baseado no projeto, ou no impacto baseado no perigo não mitigado/escalado que o projeto do FGS pretende mitigar.

Tabela 3: Pontuação de ajuste de ocupação

Impacto imediato	Proteção FGS contra escalada evacuação	Pontuação de ajuste
Ocupação rara (menos de 15 minutos por dia) ~1%	Provável fuga rápida da área de impacto do perigo crescente (< 15 minutos por dia) ~1%	-2
Ocupação moderada (rondas rotineiras do operador) ~ 10%	Saída possível usando rotas designadas. Proteção de curta duração necessária Ocupação moderada contra perigo crescente (15 minutos a 04 horas)	-1
Ocupação alta (ocupação quase contínua) > 30%	Proteção estendida necessária contra perigo crescente (mais que 04 horas)	0

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

4º PASSO: FATOR DE AJUSTE PARA PROBABILIDADE DE IGNIÇÃO

Dependendo das características do produto e das condições da perda de contenção (exemplo: ruptura brusca de equipamento contendo produto altamente reativo ou com temperatura e pressão elevadas), a ignição pode ser espontânea, prescindindo de uma fonte de ignição. O ajuste de probabilidade será realizado em função da quantidade de fontes de ignição presentes no cenário avaliado.

Tabela 4: Pontuação de ajuste de probabilidade de ignição

Item de descrição	Pontuação de ajuste
Baixa probabilidade de ignição (3%)	-1,5
Probabilidade média de ignição (10%)	-1
Probabilidade de ignição moderada (30%)	-0,5
Alta probabilidade de ignição (perto de 100%)	0

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

5º PASSO: FATOR DE AJUSTE PARA CONDIÇÕES DE PRESSÃO DE PROCESSO

Uma pressão de processo mais alta indica uma magnitude mais alta de severidade de consequência caso ocorra uma liberação. A temperatura do processo está inclusa na pontuação de consequência padrão. A Tabela 5 apresenta a pontuação adotada.

Tabela 4: Pontuação de ajuste de probabilidade de ignição

Pressão de processo	Pontuação de ajuste
Atm a 50 psig	-0,5
50 a 150 psig	0
50 a 150 psig	0,5
300 a 1.000 psig	1
>1.000 psig	1,5

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

6º PASSO: FATOR DE AJUSTE PARA CONGESTIONAMENTO E CONFINAMENTO DA NUVEM DE GASES INFLAMÁVEIS

A pontuação básica de consequência deve ser ajustada para fatores relacionados ao ambiente em torno de uma nuvem de gás em chamas, caso ela ocorra. Isso está relacionado a fatores de confinamento e congestionamento do processo. Um maior grau de confinamento e congestionamento leva a consequências mais graves. O ajuste do ambiente de inflamabilidade só deve ser aplicado se os perigos de gases inflamáveis estiverem sendo avaliados. Os valores da Tabela 6 não serão utilizados como ajuste de pontuação de consequência quando riscos tóxicos estiverem sendo avaliados. Para estes cenários, a Tabela 7 deverá ser adotada.

Tabela 6: Pontuação de ajuste para confinamento de inflamabilidade

Tipo de ambiente	Pontuação de ajuste
Sem Confinamento/ Baixo Congestionamento	-1
Algum Confinamento /Congestionamento Moderado	0
Confinamento/ Alto Congestionamento	2

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

7º PASSO: FATOR DE AJUSTE PARA CONGESTIONAMENTO E CONFINAMENTO DA NUVEM DE GASES TÓXICOS

A pontuação de consequência básica deverá ser ajustada para a concentração de tóxicas (por exemplo, sulfeto de hidrogênio) no fluido do processo. Uma concentração mais elevada de toxina é indicativa de uma maior magnitude de gravidade das consequências caso ocorresse uma liberação.

Tabela 7: Pontuação de ajuste para concentração de gás tóxico

Concentração de gás tóxico	Pontuação de ajuste
< 100 ppm	Sem análise de H ₂ S
100 ppm a 1.000 ppm	-1
1.000 ppm a 1% (10.000 ppm)	0
1% a 3% (10.000 a 30.000 ppm)	1
3% a 10% (30.000 a 100.000 ppm)	2
> 10% (acima de 100.000 ppm)	3

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

8º PASSO: IDENTIFICAÇÃO DO GRAU DE DESEMPENHO DO FGS

Para cada perigo (incêndio, combustível e tóxico), a cada item do equipamento é atribuída uma pontuação de probabilidade ajustada individual e uma pontuação de consequência ajustada. **A classificação de perigo é a soma da pontuação de probabilidade ajustada e da pontuação de consequência ajustada.** Esta pontuação indica o grau do perigo e, em última análise, o risco de incêndio, gás combustível ou gás tóxico. O valor calculado é definido como a classificação de risco da linha de base ajustada. **O valor individual mais alto da classificação de perigo da linha de base para todos os equipamentos dentro de uma determinada zona FGS é definido como a classificação de perigo da zona.** Cada um dos graus define um nível relativo de risco de incêndio ou liberação de gases, sendo **o grau A correspondente às áreas de maior risco e o grau C às áreas de menor risco** que requerem detecção. O resultado do método semiquantitativo é uma classificação relativa para cada tipo de perigo avaliado. Uma classificação de perigo mais elevada representa um nível de risco mais elevado, o que subsequentemente requer uma meta de desempenho mais elevada no FGS para mitigar o risco.

Tabela 8: Tabela com graus de exposição ao risco

Definição de exposição	Nota
Alto Potencial de Perigo	A
Potencial de Perigo Moderado	B
Potencial de Perigo Baixo ou Muito Baixo	C

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

9º PASSO: METAS DE DESEMPENHO DE DETECÇÃO DE GASES

Gases inflamáveis

O projeto de detecção de gás combustível baseia-se na capacidade de detectar um volume limite de gás em um estágio incipiente, quando ações podem ser tomadas para evitar perdas significativas caso esse volume de gás entre em ignição e resulte em uma deflagração. O objetivo não é impedir a formação, ignição ou deflagração de nuvens inflamáveis de qualquer tamanho, mas sim limitar a aceleração da frente de chama dessas nuvens de gás inflamadas a uma velocidade que se tenha demonstrado estar abaixo do limiar de danos estruturais em ambientes de processo. O grau de perigo e os danos causados pela deflagração de um gás combustível estão relacionados com o tamanho da nuvem e outros fatores, tais como o confinamento e a presença de obstáculos indutores de turbulência.

As metas de desempenho de detecção de gás combustível são avaliadas em locais onde nuvens de gás inflamadas podem causar danos por sobrepressão de explosão. Nestes locais, a menor nuvem de gás com potencial para causar tais danos, ou a menor nuvem de gás que possa ser razoavelmente desenvolvida, é usada para definir os requisitos para a colocação de detectores de gases. O resultado do método semiquantitativo é a classificação de perigo de gás combustível que é representativa do risco relativo de gases inflamáveis. Uma classificação de perigo mais elevada representa um nível de risco mais elevado, o que subsequentemente requer uma meta de desempenho mais elevada no FGS para mitigar o risco. A Tabela 9 apresenta metas de cobertura de detecção de gases inflamáveis:

Tabela 9: Tabela com metas de cobertura de detecção para gases inflamáveis

Classificação de perigo calculado	Nota	Cobertura de detecção de gás
Maior que 7	A ⁺	Maior que 90%
Acima de 5 e Abaixo de 7	A	Igual a 90%
Acima de 2 e Abaixo de 5	B	Igual a 80%
Acima de 0,5 e Abaixo de 2	C	Igual a 60%
Abaixo de 0,5	N/D	Sem Cobertura Alvo

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

Gases tóxicos

O desempenho da detecção de gás H_2S é baseado na probabilidade e gravidade dos perigos de gases tóxicos presentes. A definição de metas de desempenho requer a definição do perigo. Para o H_2S , esta é a menor nuvem de gás com potencial para causar ferimentos graves. Isto descreve a magnitude do perigo que requer detecção e é usado para definir os requisitos para a colocação de detectores de gases tóxicos.

Tabela 10: Tabela com metas de cobertura de detecção para gases tóxicos

Classificação de perigo calculado	Nota	Cobertura de detecção de gás
Maior que 7,5	A ⁺	Maior que 90%
Acima de 5,5 e Abaixo de 7,5	A	Igual a 90%
Acima de 3,5 e Abaixo de 5,5	B	Igual a 80%
Acima de 1,5 e Abaixo de 3,5	C	Igual a 60%
Abaixo de 1,5	N/D	Sem Cobertura Alvo

Fonte: Anexo A da ISA-TR84.00.07-2018

A partir das metas de cobertura para detecção de gases inflamáveis e tóxicos, apresentadas respectivamente pela Tabela 9 e Tabela 10 deste Anexo, é possível balizar a tomada de decisão relacionada à quantificação e posicionamento dos detectores.

3. Registros

É recomendado que a aplicação desta avaliação semiquantitativa para determinação da meta de cobertura seja documentada por meio de um relatório técnico, apresentando o grau de cobertura para cada cenário acidental ou equipamento de processo estudado.

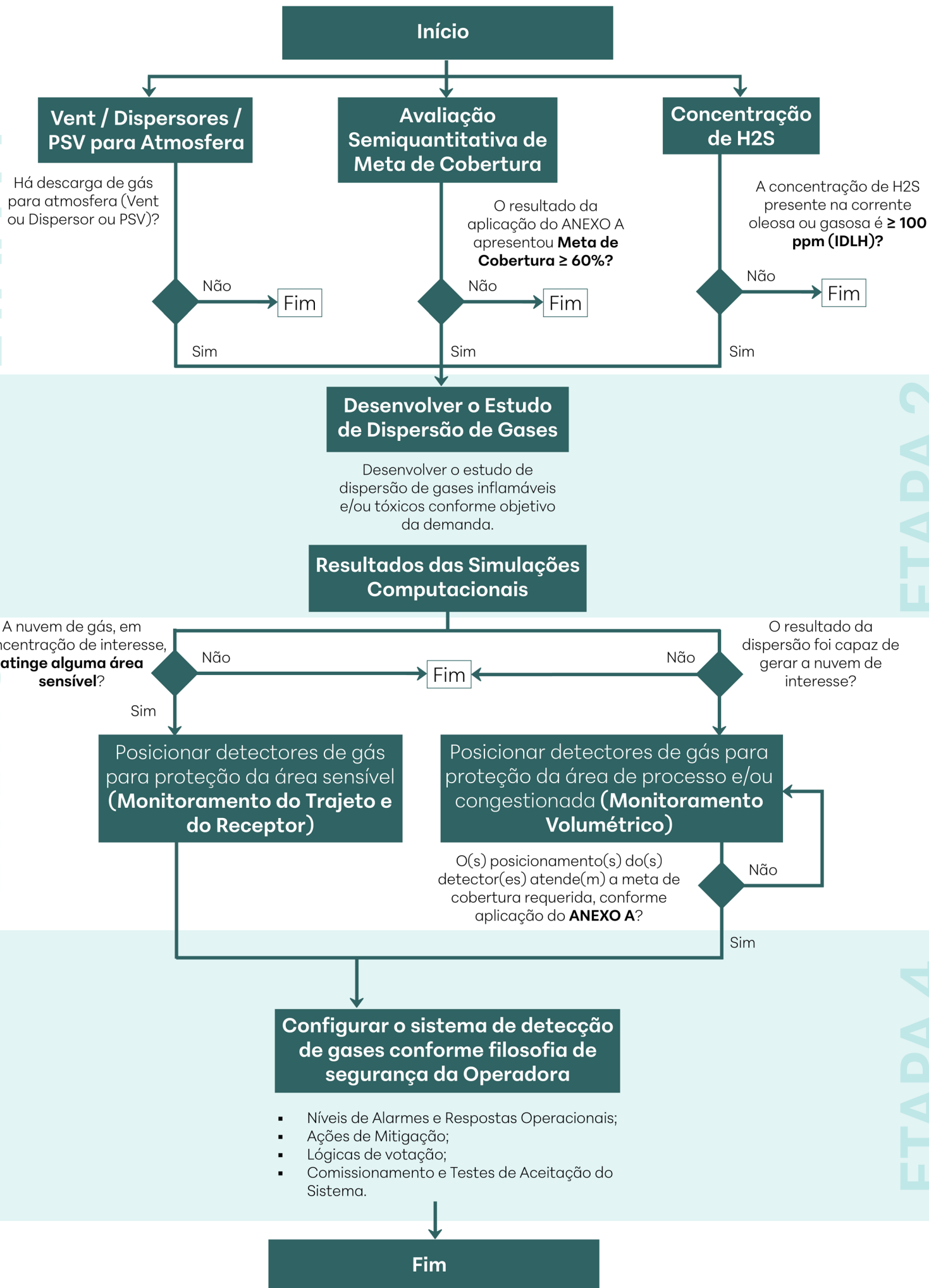


A vertical decorative element on the left side of the page, consisting of white, stylized flame or smoke patterns against a dark teal background.

ANEXO

Fluxograma de
tomada de decisões
para desenvolver
estudo de dispersão
de gases e alocação
de detectores









abpip

Apoio:

 **SEPRO**
ENGENHARIA DE RISCOS