



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA



MAURO DE PAULA RESENDE JÚNIOR

Avaliação da área classificada aplicada à produção de acetileno

Uberlândia, MG
2024

Mauro de Paula Resende Júnior

Avaliação da área classificada aplicada à produção de acetileno

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro habilitação Engenharia Química.

Área de concentração: Engenharia Química

Orientador: Prof. Dr. Rubens Gedraite

Uberlândia, MG

2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Finalizada uma importante etapa da minha vida, gostaria de agradecer a todos aqueles que me apoiaram nesta longa caminhada e puderam contribuir para realização deste trabalho.

Aos meus pais, agradeço pelo amor incondicional, pelo apoio e pela motivação nos momentos que mais precisei, sempre sendo minha inspiração de perseverança.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas de curso pela força, suporte, amizade e trocas de experiências, que sempre estiveram disponíveis para ajudar. Obrigado por fazerem minha graduação mais leve e mais agregadora. Sou grato às amizades que a Universidade Federal de Uberlândia me proporcionou, estas que levarei ao longo da vida.

Gostaria de agradecer também à entidade da UFU que participei no período de graduação. Ao Diretório Acadêmico da Engenharia Química, muito obrigado por proporcionarem bons momentos na faculdade e por fazerem parte do meu crescimento pessoal.

Por último, mas não menos importante, agradeço meus professores da FEQUI-UFU pelos ensinamentos. Ao meu orientador, Prof. Dr. Rubens Gedraite, meu maior agradecimento por sua orientação, disponibilidade e disposição, sempre se mostrando paciente e compreensivo.

RESUMO

Áreas classificadas são áreas nas quais uma atmosfera explosiva está presente ou pode estar presente, em quantidade que requeira precauções especiais para instalação e utilização de equipamentos. Considerando um cenário comum de instalação da indústria química, foi elaborado um HAZOP do gerador de produção de acetileno, com foco em mapear e definir as regiões no entorno do gerador que possam oferecer riscos de explosão devido a presença de atmosfera explosiva durante a fabricação do acetileno. A análise do risco foi realizada com base na metodologia utilizada em HAZOP. Os resultados obtidos nos estudos mostram os pontos do equipamento onde possam oferecer riscos de explosão, junto de causas e consequências. Ele pôde também estimar e quantificar o volume das regiões de entorno dos pontos que possam oferecer risco de explosão pela presença de gases inflamáveis.

Palavras-chave: área classificada, atmosfera explosiva, análise de risco, gerador, acetileno.

ABSTRACT

Classified areas are areas in which an explosive atmosphere is present or may be present, in such a quantity as to require special precautions, for the installation and use of equipment. Considering a common chemical industry installation scenario, a HAZOP was drawn up for the acetylene production generator, with a focus on mapping and defining the areas around the generator that could pose a risk of explosion due to the presence of an explosive atmosphere during the manufacture of acetylene. The risk analysis was based on the methodology used in HAZOP. The results obtained in the studies show the points on the equipment where there could be a risk of explosion, along with the causes and consequences. He was also able to estimate and quantify the volume of the areas around the points that could pose a risk of explosion due to the presence of flammable gases.

Key words: classified area, explosive atmosphere, risk analysis, generator, acetylene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das usinas de açúcar e álcool no Brasil	13
Figura 2 – Maquete de planta de produção de acetileno	19
Figura 3 - Diagrama de blocos de uma planta de produção de acetileno por via úmida	20
Figura 4 - Classificação das áreas de processos segundo o risco de explosão	23
Figura 5 - Representação esquemática do gerador de C_2H_2	27
Figura 6 - Representação esquemática do vazamento pelo Nó (1)	35
Figura 7 - Representação esquemática do vazamento pelo Nó (2)	37
Figura 8 - Representação esquemática do vazamento pelo Nó (3)	38
Figura 9 - Representação das zonas correspondentes às áreas classificadas	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Produção de petroquímicos primários e derivados	16
Quadro 2 - HAZOP parcial do gerador de <i>C₂H₂</i>	29
Quadro 3 - HAZOP parcial do gerador de <i>C₂H₂</i>	32
Quadro 4 - HAZOP parcial do gerador de <i>C₂H₂</i>	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BASF – *Badische Anilin & Soda Fabrik*;

EUA - Estados Unidos da América;

HAZOP - *Hazard and Operability Study*;

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

PIB - Produto Interno Bruto

PVC - Poli cloreto de vinila

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

SINOPEC - *China Petrochemical Corporation*

LISTA DE SÍMBOLOS

BDO: 1,4-Butanodiol;

C₂H₂: Acetileno;

CaC₂: Carбето de cálcio;

THF: Tetraidrofurano;

H₂O: Água;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
3	METODOLOGIA.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 Mercado do acetileno

Em escala global, de acordo com relatórios da **ChemAnalyst (2021)**, o mercado de Acetileno registrou um crescimento considerável, atingindo uma produção de 1,9 milhões de toneladas em 2020. Ainda segundo a referência citada, a taxa de crescimento anual composto, esperado é de aproximadamente 4,1% até 2030. O mercado deste gás é fragmentado por natureza, tendo com principais produtoras as empresas: BASF, Gulf Cryo, Linde, SINOPEC e Praxair.

A crescente demanda do mercado estudado se deve às propriedades químicas e físicas do acetileno, que permitem a aplicação em diversas áreas que estão em expansão, como por exemplo em síntese de produtos químicos, metalurgia e automotiva. Dentre os principais usos do produto químico estão o tratamento térmico, soldagem e corte oxiacetilênico, pois pode alcançar a temperatura de combustão de 3.090°C liberando uma quantidade de energia correspondente a 54,8 kJ/L em sua combustão. Aliás, o acetileno é prioritariamente utilizado para este fim.

A indústria metalúrgica, por exemplo, representou 4,2% do PIB brasileiro em 2019, segundo o Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Tendo a região sudeste como a mais expressiva, concentrando 5,6% do PIB deste setor.

Outro setor que representa uma grande parte do consumo do acetileno é o sucroalcooleiro, que utiliza este gás para manutenção de equipamentos. Só no Brasil existem 422 usinas, concentradas em maior parte na região Sudeste (**Nova Cana, 2020**). Na **Figura 1** é apresentada a distribuição das usinas no Estados Brasileiros.

Em relação ao consumo mundial, a região da Ásia-Pacífico dominou o mercado, devido ao aumento das atividades de transporte e construção na China e no Japão. É importante destacar que a China é a maior fabricante de automóvel do mundo.

Figura 1 – Distribuição das usinas de açúcar e álcool no Brasil



Fonte: Nova Cana (2020)

Em 2020, de acordo com a **ChemAnalyst (2021)**, o mercado foi duramente afetado pela pandemia COVID-19, devido às restrições impostas pelos Governos e parada de fábricas afim de conter a propagação do vírus. Entretanto, no último trimestre de 2020 as vendas mostraram uma melhora em volume na Ásia e na Europa, à medida que as atividades de construção foram recuperando e a demanda por cilindros de oxiacetileno aumentou. Já nas Américas a demanda por acetileno permaneceu reduzida, principalmente após a diminuição da produção na planta da BASF em Geismar, após o Furacão Laura.

No primeiro trimestre de 2021, houve uma baixa na produção em regiões na América do Norte e consequentemente um aumento no preço do acetileno. Essa baixa foi ocasionada pelas tempestades de inverno que interromperam 7,4% da produção de Gás Natural Liquefeito (GNL) na região, levando a uma escassez crítica e reduzindo a produção de acetileno que depende da disponibilidade de GNL. Com isso houve uma diminuição na exportação, fazendo com que a Europa não tivesse matéria-prima suficiente para produção de produtos químicos derivados do acetileno, tais como o BDO e o THF.

Já na Ásia, o mercado permaneceu estável, mesmo com a diminuição na produção devido aos feriados lunares chineses, pois vários importadores mantiveram seus estoques altos com antecedência.

De julho a setembro de 2021, apesar das incertezas da 2ª onda de COVID-19, o mercado na América do Norte retomou seu crescimento nas indústrias de uso final. Entretanto a exportação de Carboneto de Cálcio da China estava limitada devido às regulamentações governamentais para economia de energia.

Em dezembro de 2021, houve uma reação em cascata nos EUA devido a demanda por carvão aumentar em 9,4%, desencadeando um aumento no consumo de acetileno, visto que este é utilizado na mineração. (**AMERICAN CHEMICAL COUNCIL, 2022**).

1.2 Objetivos a serem alcançados

O objetivo principal deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é definir as regiões no entorno do gerador de acetileno que possam oferecer risco de explosão devido a presença de atmosfera explosiva durante o processo de fabricação do acetileno via reação do carbeto de cálcio com a água;

Como objetivos secundários deste TCC têm-se:

- a) Identificar os pontos do equipamento que possam oferecer risco de explosão devido à presença de gases inflamáveis; e
- b) Estimar o volume das regiões do entorno dos pontos do equipamento que possam oferecer risco de explosão devido à presença de gases inflamáveis.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O processo de fabricação do acetileno (C_2H_2) foi escolhido como tema de estudo deste trabalho devido a sua importância no mercado brasileiro como um produto químico que é empregado nos mais diversificados setores da indústria (ABIQUIM,2022).

2.1 Aspectos históricos relacionados à fabricação do acetileno

A produção de produtos químicos a partir do petróleo alcançou proporções enormes a partir da 1ª guerra mundial, com o surgimento da indústria petroquímica, a qual ocupa uma posição de destaque no mercado até os nossos dias.

Desenvolvido na década de 30 pelo grupo Lummus, líder no mercado mundial e constituindo-se naquela época em excepcional inovação técnica, o **processo Wulff** contribuiu para o incremento da fabricação de olefinas pela pirólise de hidrocarbonetos. Em nosso país, a Union Carbide do Brasil – subsidiária da Union Carbide Corporation, que era a detentora da tecnologia empregada no referido processo – instalou um forno de pirólise baseado naquele processo em sua fábrica localizada no complexo industrial de Cubatão, Estado de São Paulo, que era usada para fabricar polietileno (RQI, 1969).

Criado em 1930, o **processo Wulff** somente foi aplicado industrialmente em 1950, em uma unidade industrial norte-americana da empresa Union Carbide, que produzia etileno e acetileno numa proporção entre 2:1 e 3:1. Inicialmente foi usado o etano como matéria-prima e posteriormente a nafta. O rendimento global de etileno e acetileno variava entre 39% e 51%, de acordo com a proporção entre o acetileno e o etileno.

Partindo da nafta petroquímica, o processo industrial da Union Carbide permitia a fabricação de produtos petroquímicos primários, tais como: acetileno, etileno e benzeno e dos derivados apresentados no **Quadro 1**.

Quadro 1 - Produção de petroquímicos primários e derivados

Produtos Primários	Produtos Intermediários	Produtos Finais
Acetileno	Cloreto de vinila	PVC
	Acrilonitrila	Fibra de Orlon Borracha GR-A
	Tetracloroeto de etileno	Solventes fungicidas
	Vinil acetileno	Borracha, Neoprene
Etileno	Polietileno	Fios e cabos elétricos Tubulações Embalagens Artigos domésticos Agricultura Brinquedos
	Óxido de etileno:	
	• Etanolaminas	Emulsificantes, plastificantes e detergentes
	• Etil hexanol	Plastificantes
	• Etileno cloridrina	Antraquinona
	• Etileno glicol	Plásticos, fibras
	• Hexileno glicol	Fluidos hidráulicos
	• Polietileno glicóis	Espuma de borracha
	Álcoois	Solventes
	• Acetaldeído	Ácido acético
		Anidrido acético
	Fluoretanos	Refrigerantes
Benzeno	Estireno	Poliestireno
	Ciclo hexano / ácido adípico	Nylon
	Clorobenzeno	Corantes Inseticidas
	Anidrido maleico	Poliéster
	Fenol	Plásticos fenólicos
		Adesivos
	Nitrobenzeno	Corantes

Fonte: (RQI, 1969)

O processo Wulff apresentava algumas características interessantes, sendo especialmente projetado para craqueamento de hidrocarbonetos e posterior formação de etileno e acetileno, a saber:

1. Podia utilizar matérias-primas que variavam do etano ao gasóleo ou óleo-cru; também, podia partir de frações aromáticas e gases residuais ricos em hidrogênio;

2. No caso particular do acetileno o fato de o processo não necessitar de suprimento de oxigênio fazia com que o produto final fosse puro, sem a presença do subproduto propileno;
3. Era flexível a ponto de permitir alterações rápidas de proporções entre acetileno e etileno, de 0,5:1 até 8:1, para fazer frente a situações competitivas do mercado consumidor

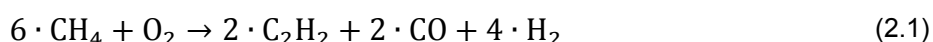
Em resumo, os fornos de pirólise Wulff – de ciclo combinado – apresentavam fases de aquecimento e craqueamento alternadas, empregando duas massas refratárias idênticas, situadas em uma zona de combustão central. Sem perdas de calor no processo, o gás craqueado era arrastado pelos produtos da reação, oferecendo maior economia na recuperação do produto e no sistema de purificação. No processo em questão, as fornalhas eram compostas de placas revestidas de refratários, sendo aquecidas até a temperatura de craqueamento por meio da queima de óleo combustível com ar.

A nafta petroquímica era misturada com vapor de água de baixa pressão e introduzida nas fornalhas duplas, ocorrendo a reação de pirólise por volta de 1.200°C e vácuo de 0,5 atm. Os fornos eram operados aos pares e controlados automaticamente por meio de sistema de gerenciamento do funcionamento dos ciclos alternados. Cada ciclo consistia na alimentação da mistura vaporizada de nafta / vapor de água de diluição a um dos fornos, no qual ocorria a reação de pirólise enquanto o outro forno estava em aquecimento. Na sequência ocorria a alternância entre os fornos. A duração de cada ciclo era curta, de modo que a temperatura era mantida praticamente uniforme e a composição do gás craqueado constante.

Considerando, ainda, o fato de que o acetileno é o alcino de maior importância industrial, é importante apresentar, de maneira breve, alguns dos processos que foram empregados para a sua produção em escala industrial. Um dos processos muito utilizados foi a reação da água sobre o carbeto de cálcio (CaC_2). Importante destacar que no período da evolução tecnológica em que a carboquímica predominou, esta rota foi a mais empregada industrialmente **(MORRISON & BOYD, 2011)**.

O carbeto de cálcio era produzido pela reação entre o óxido de cálcio e o coque, realizada a altíssimas temperaturas (aproximadamente 2.000°C), em fornos elétricos (JI et al., 2014). O óxido de cálcio era fabricado a partir da pedra de cal e o coque a partir do carvão, considerando o emprego de matérias-primas abundantes na época.

Com o passar do tempo e com o advento da era da petroquímica, o processo anterior foi sendo substituído pelo processo que consistia na oxidação parcial do metano, também à altas temperaturas (da ordem de 1.500°C), como mostrado na reação apresentada na **Equação (2.1)**. Importante ressaltar o fato de que a viabilidade econômica deste processo se devia à formação do monóxido de carbono e do hidrogênio, precisamente nas proporções requeridas para a produção do metanol (MORRISON & BOYD, 2011; BADISCHE ANILIN & SODA FABRIK, 2014).



2.2. Rotas de Produção

Várias rotas de produção industrial do acetileno são apresentadas na literatura (PÄSSLER et al., 2000). Porém, cada uma delas leva em consideração tantas questões de ordem econômica quanto a realidade da região em que a produção se dará.

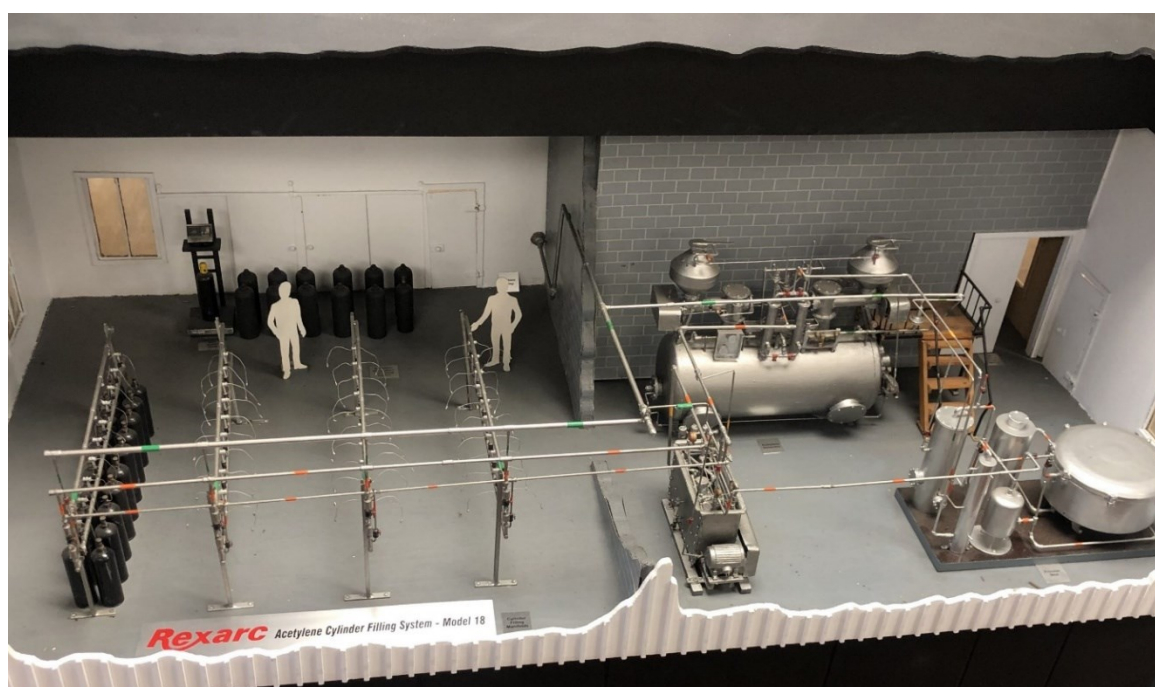
Pesquisas realizadas mostram que a rota de produção baseada no emprego do carbeto de cálcio (CaC_2) e da água como matérias-primas ainda é atrativa, principalmente pela simplicidade de implantação do parque produtivo e pelo menor custo de investimento e de operação, quando comparada com instalações industriais petroquímicas, que geralmente são de grande porte.

Como já anteriormente citado, para que ocorra a formação do acetileno é necessária a reação do carbeto de cálcio com a água. É importante destacar que esta reação é extremamente exotérmica, o que faz com que o controle de temperatura e de pressão sejam mandatórios, pois o acetileno é um composto altamente reativo. Caso ocorra a perda do controle das citadas variáveis de

processo, a reação torna-se perigosa (**MESSER GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG, 2017**).

A escolha da rota de produção baseada no emprego do carbeto de cálcio (CaC_2) e da água se justifica pelo fato de que existem no mercado empresas especializadas nesta tecnologia que poderiam atender plenamente a necessidade de produção local. Na **Figura 2** é apresentada uma maquete que ilustra a produção de acetileno por esta rota tecnológica (**REXARC, 2022**).

Figura 2 – Maquete de planta de produção de acetileno



Fonte: **REXARC (2022)**

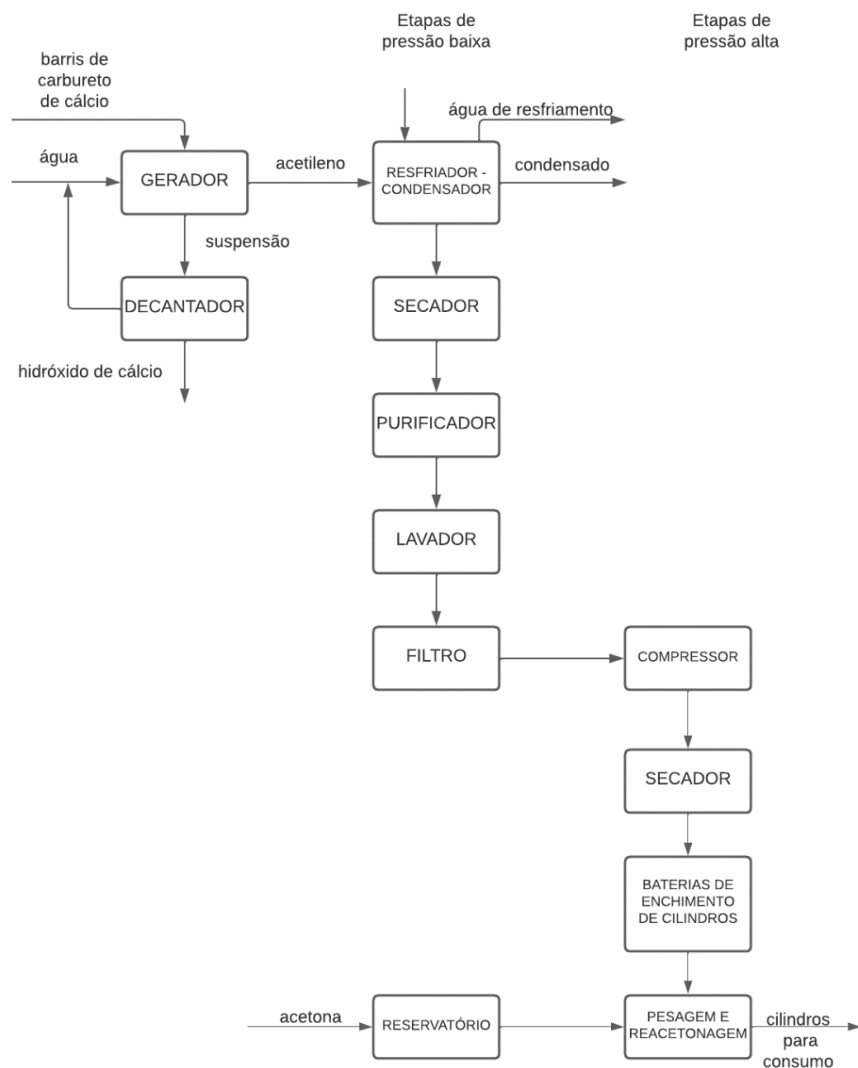
Na **Figura 3** é apresentado o diagrama de blocos do processo de produção do acetileno por via úmida. Neste tipo de unidade de processamento, o carbeto de cálcio é alimentado pelo topo do gerador, já contendo a massa de água requerida para a produção do gás acetileno e do hidróxido de cálcio.

O acetileno produzido não é adequado para a compressão, portanto antes é necessário que ele seja resfriado, lavado com água para remover a amônia, purificado e seco. Em seguida é empregada uma nova secagem, para então passar por uma compressão em três estágios, seguida de posterior secagem e, por fim, ser enviado aos cilindros de armazenamento para o enchimento desses.

A acetona é utilizada como “recheio” para os cilindros de armazenagem visando a solubilização do acetileno com o objetivo de torná-lo mais estável,

permitindo alcançar pressões internas mais altas e consequentemente uma maior quantidade armazenada por unidade de volume (**DWECK, 1982**).

Figura 3 - Diagrama de blocos de uma planta de produção de acetileno por via úmida



Fonte: **DWECK (1982)**

2.3 Análise de Risco

A análise de risco é comumente conhecida pela abreviatura em inglês HAZOP, que significa *Hazard and Operability Study* (Estudo de Risco e Operabilidade). Na década de 1970 foram iniciados estudos de operabilidade, baseados na hipótese de que um problema existe apenas quando há um desvio do que é normalmente esperado (**ROSSING et al., 2010**).

O HAZOP é o procedimento que gera perguntas de maneira estruturada e sistemática através do uso apropriado de um conjunto de **palavras-guias** aplicadas a pontos críticos do sistema em estudo (**SILVA, 2019**).

Essa análise proporciona uma metodologia sistemática, que possibilita a identificação, avaliação minuciosa e mitigação de possíveis riscos de cada parcela do processo, sobretudo de alguns pontos específicos (os chamados nós) que podem causar graves perdas humanas, ambientais e econômicas. Diferentes métodos são praticados em vários estágios durante o ciclo de vida da planta (**SWANN; PRESTON, 1995**).

Dessa forma, o que se espera de um HAZOP é a descoberta de todos os possíveis desvios das condições normais de operação, identificando as causas responsáveis por tais desvios e as respectivas consequências. Em seguida, deve-se propor medidas para eliminar ou controlar o perigo ou para sanar o problema de operabilidade da instalação (**CROWL; LOUVAR, 2015**).

A metodologia HAZOP, engloba tanto os problemas de segurança, buscando identificar os perigos que possam colocar em risco os operadores e os equipamentos da instalação, quanto os problemas de operabilidade que embora não sejam perigosos, podem causar perda de produção ou que possam afetar a qualidade do produto ou a eficiência do processo.

2.4 Avaliação da extensão da área classificada

A **ABNT NBR IEC 60079-0 (2013)** define área classificada como sendo a “Área na qual uma atmosfera explosiva está presente, ou pode estar presente, em quantidade tal que requeira precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos elétricos”.

Geralmente a classificação da área é realizada por um grupo multidisciplinar de profissionais composto por: (i) - Engenheiro responsável pelo projeto; (ii) - Engenheiro responsável pela manutenção industrial; (iii) - Engenheiro de processo; (iv) - Responsável pela operação da planta; (v) - Responsável pela segurança industrial e por (vi) – Especialista (s) no tema “Ex”.

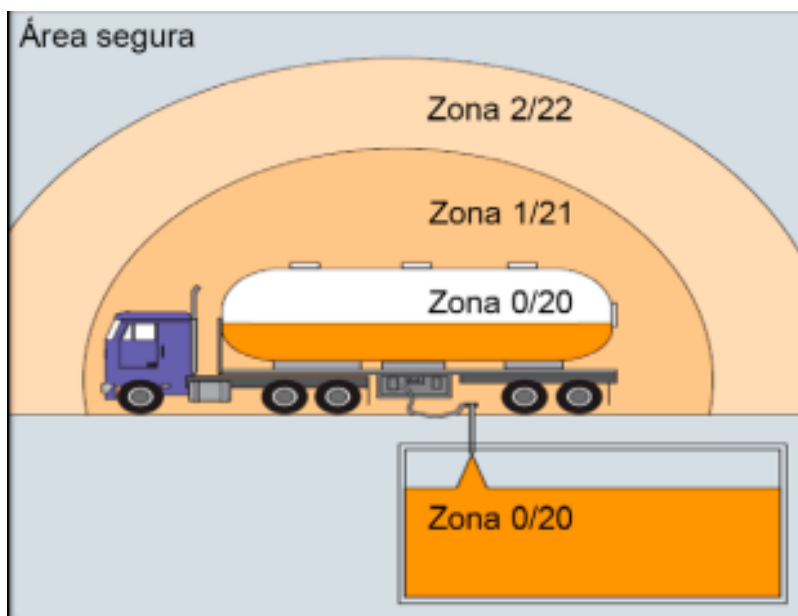
Tipicamente, a necessidade de classificação de uma área de processo advém da presença de uma ou mais dos seguintes itens: (i) - gases inflamáveis; (ii) - vapores inflamáveis ou (iii) - poeiras combustíveis. A classificação da área é baseada na frequência e duração da ocorrência de uma atmosfera explosiva, dando origem à subdivisão de níveis de risco por meio do emprego do conceito de zonas.

Áreas que podem conter a presença de **gases, vapores ou névoas inflamáveis** são classificadas como Zona 0, Zona 1 e Zona 2. Define-se uma área como sendo **Zona 0** se uma atmosfera explosiva na forma de gás, vapor ou névoa está presente de maneira frequente e contínua, ou ainda, por longos períodos. Já uma área definida como **Zona 1** diz respeito ao local onde uma atmosfera explosiva na forma de gás, vapor ou névoa poderá ocorrer, de maneira ocasional, em operação normal. Por outro lado, o local onde é improvável de ocorrer (em condições normais) uma atmosfera explosiva na forma de gás, vapor ou névoa – e, se ocorrer, será por um curto período – é definido como **Zona 2**. Importante observar que um equipamento certificado para Zona 1 é automaticamente adequado para uso em Zona 2 e, um equipamento certificado para Zona 0 é adequado para uso nas Zonas 1 e 2.

Áreas com possibilidades ou presença de poeiras ou pós combustíveis são classificadas como Zona 20, Zona 21 e Zona 22, seguindo a mesma linha de raciocínio apresentada no parágrafo anterior. Assim, o local onde uma atmosfera explosiva na forma de poeira combustível dispersa em nuvem no ar está presente frequentemente – quer seja de maneira contínua ou quer seja durante longos períodos – durante a operação normal do equipamento recebe a designação de **Zona 20**. Já uma área definida como **Zona 21** diz respeito ao local onde uma atmosfera explosiva na forma de poeira combustível poderá ocorrer, de maneira ocasional, durante a operação normal do equipamento. Por outro lado, o local onde é improvável de ocorrer (em condições normais) uma atmosfera explosiva na forma de poeira combustível – e, se ocorrer, será por um curto período – é definido como **Zona 22**. Também é importante observar que um equipamento certificado para Zona 21 é automaticamente adequado para uso em Zona 22 e, um equipamento certificado para Zona 20 é adequado para uso nas Zonas 21 e 22.

Na **Figura 4** é apresentada uma representação simplificada da classificação de áreas contendo atmosferas explosivas, com base nas definições citadas.

Figura 4 - Classificação das áreas de processos segundo o risco de explosão



Fonte: Alpha (s.i.)

2.5 Conceitos importantes no dimensionamento da área classificada

A estimativa da extensão das áreas classificadas correspondentes aos nós estudados neste TCC foi realizada com base no procedimento recomendado ANSI/ISA–TR12.24.01–1998 (IEC 79-10 Mod) (**ISA, 2000**).

Os principais fatores que afetam o dimensionamento da extensão da área classificada e que estão relacionados com a instalação industrial, são: (i) - a ventilação do ambiente onde ocorreu o vazamento, (ii) - o tipo de vazamento e (iii) - a fonte de liberação do vazamento.

A ventilação do ambiente pode ser entendida como sendo o movimento do ar e a sua substituição por ar fresco devido à ação do vento, de gradientes de temperatura ou mesmo com o emprego de meios artificiais, tais como ventiladores ou exaustores.

A eficácia da ventilação no controle da dispersão e persistência da atmosfera explosiva dependerá do grau e da disponibilidade de ventilação e do projeto do

sistema. Por exemplo, a ventilação pode não ser suficiente para evitar a formação de uma atmosfera explosiva, mas pode ser suficiente para evitar a persistência de uma atmosfera explosiva.

Os seguintes três graus de ventilação são tipicamente empregados:

a) Alta ventilação

Pode reduzir a concentração na fonte de liberação praticamente instantaneamente, resultando em uma concentração abaixo do limite explosivo inferior. Uma zona de resultados de extensão pequena (mesmo insignificante).

b) Ventilação média

Pode controlar a concentração, resultando em uma situação estável na qual a concentração além da zona limite está abaixo do LEL enquanto a liberação está em andamento e onde a atmosfera explosiva não persistir indevidamente após a liberação ter sido interrompida. A extensão e o tipo de zona estão limitados aos parâmetros de projeto.

c) Baixa ventilação

Não é possível controlar a concentração enquanto a liberação está em andamento e/ou não é possível evitar a persistência indevida de uma atmosfera inflamável após a liberação ter cessado.

A disponibilidade de ventilação tem relação direta com a presença ou formação de atmosfera explosiva. Assim, a disponibilidade (bem como o grau) de ventilação precisa ser levada em consideração quando se deseja determinar o tipo de zona. Devem ser considerados três níveis de disponibilidade da ventilação, a saber:

a) **Bom:** a ventilação está presente, de modo contínuo;

b) **Razoável:** espera-se que haja ventilação durante a operação normal. As descontinuidades são permitidas desde que ocorram com pouca frequência e por curtos períodos; e

c) **Ruim:** ventilação que não atende ao padrão de razoável ou bom, mas não se espera que ocorram descontinuidades por longos períodos

No que diz respeito à classificação do tipo de vazamento, existem três tipos básicos, classificados em ordem decrescente de perigo, a saber: (i) - liberação contínua, (ii) - liberação descontínua com maior intensidade e (iii) - liberação descontínua com menor intensidade. No caso da liberação contínua, considera-se que o vazamento persistirá por longo período. Já no caso da liberação descontínua com maior intensidade, considera-se que o vazamento possa ocorrer – tanto

ocasionalmente quanto periodicamente – em condições normais de operação. No caso da liberação descontínua com menor intensidade, considera-se que o vazamento não ocorra em condições normais de operação e, caso ocorra, terá curta duração.

A fonte de liberação do vazamento é o ponto ou o local a partir do qual um gás inflamável, um vapor inflamável ou um líquido inflamável podem sofrer vazamento para a atmosfera, de tal modo que uma atmosfera explosiva poderia ser formada.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada a metodologia HAZOP com a finalidade de mapear e avaliar os principais desvios no processo de produção de acetileno por via úmida. Além disso, por se tratar de um método minucioso, foi possível estudar e estruturar possíveis ações de prevenção desses perigos a fim de evitar acidentes.

Com base nas orientações apresentadas em **Gedraite (2019)**, foi realizada a subdivisão do sistema em nós (pontos de estudos) sendo o nó de interesse o localizado na tubulação de saída de acetileno.

Foi elaborada uma planilha de Análise de Perigos e Operabilidade, contendo as palavras guia, desvios, causas, consequências e providências dos riscos estudados. Os resultados do HAZOP estão apresentados na Seção 4 deste trabalho.

Para a Análise de Risco é considerada uma planta com capacidade para produzir 8,5 m³/h de acetileno a 27°C e 700 mmHg. A massa de carbeto de cálcio usada como base de cálculo para atender à produção é de 150 kg, com pureza de 100%.

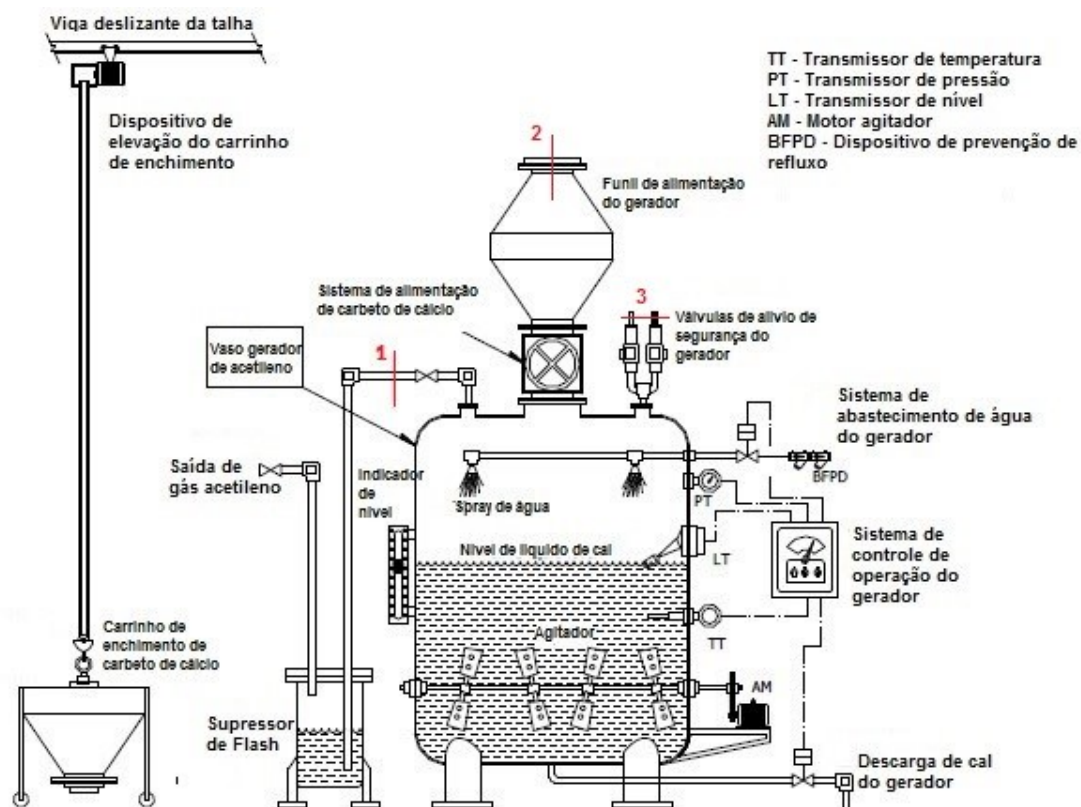
A definição das regiões que podem sofrer vazamentos ou acúmulo de gases inflamáveis, bem como das envoltórias correspondentes a estes pontos foi realizada com base no procedimento recomendado ANSI/ISA–TR12.24.01–1998 (IEC 79-10 Mod) (**ISA, 2000**).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de HAZOP parcial do gerador

Na **Figura 5** é apresentada a representação esquemática simplificada de um gerador de C_2H_2 , considerando as principais variáveis de processo envolvidas na análise, a saber: a quantidade de C_2H_2 alimentada por batelada, a quantidade de água alimentada por batelada, a pressão de operação do gerador de C_2H_2 e a temperatura de operação do equipamento.

Figura 5 - Representação esquemática do gerador de C_2H_2



Fonte: ASIA INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION (2022)

Durante as etapas de partida e parada do gerador de C_2H_2 , o controle da pressão e da temperatura, têm um papel fundamental para seu o funcionamento.

Os nós de interesse para este trabalho são: o nó (1), localizado na tubulação de saída de C_2H_2 , o nó (2), localizado na saída do *generator feeder hopper* e o nó (3), localizado na saída das válvulas de segurança instaladas no equipamento.

No **Quadro 2** é apresentado o HAZOP do reator, objeto de estudo deste trabalho, levando em consideração as possíveis falhas do processo e as respectivas ações mitigatórias para as variáveis consideradas para o nó (1). Para o HAZOP aplicado a este nó foram escolhidas as variáveis de processo vazão, pressão e temperatura.

No **Quadro 3** é apresentado o HAZOP do reator, objeto de estudo deste trabalho, levando em consideração as possíveis falhas do processo e as respectivas ações mitigatórias para as variáveis consideradas para o nó (2). Para o HAZOP aplicado a este nó foram escolhidas as variáveis de processo vazão, pressão e temperatura.

No **Quadro 4** é apresentado o HAZOP do reator, objeto de estudo deste trabalho, levando em consideração as possíveis falhas do processo e as respectivas ações mitigatórias para as variáveis consideradas para o nó (3). Para o HAZOP aplicado a este nó foi escolhida a variável de processo vazão.

A escolha da variável de processo vazão é importante para caracterizar o vazamento do acetileno em cada nó considerado, uma vez que é a ocorrência do vazamento que implicará diretamente na presença da área classificada ao redor do gerador de C_2H_2 . Por sua vez, as variáveis pressão e temperatura estão diretamente relacionadas com o risco de explosão associado ao vazamento, pois contribuiriam para aumentar o conteúdo de energia interna no bolsão de gás C_2H_2 formado ao redor do ponto de vazamento

Quadro 2 - HAZOP parcial do gerador de C_2H_2

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Produção de acetileno				
Sistema: Gerador de C_2H_2			Equipe: Mauro de Paula Resende Jr.	Data: 20/11/2023
Parâmetro: Vazão de acetileno			Nó: 1	Página: 01
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Nenhuma	Ausência de vazão no nó.	1. Falha no funcionamento do gerador de C_2H_2; ou 2. Falha completamente fechada da válvula de controle na saída do gerador de C_2H_2.	1. Aumentar a pressão interna do gerador de C_2H_2; 2. Causar o vazamento do C_2H_2 em decorrência do aumento de pressão; e 3. Não deixar o reator operacional.	1. Instalar chave de fluxo na tubulação de saída do gerador de C_2H_2; 2. Instalar medidor de vazão de C_2H_2 com alarme de vazão muito baixa.
Menos	Menos vazão no nó.	1. Problema no funcionamento da válvula de controle na saída do gerador de C_2H_2; e 2. Operação indevida, por parte do operador de processo, alocado no gerador de C_2H_2.	1. Aumentar a pressão no interior do gerador de C_2H_2; 2. Aquecer o gerador de C_2H_2 mais rapidamente do que o permitido; e 3. Não deixar o reator operacional.	1. Instalar medidor de vazão com alarme de vazão baixa; 2. Instalar medidor de temperatura no reator, com alarme de temperatura alta; e 3. Instalar medidor de pressão no reator, com alarme de pressão alta.
Mais	Mais vazão no nó	1. Falha completamente aberta da válvula de controle na saída do gerador de C_2H_2; e 2. Operação indevida, por parte do operador de processo, alocado no gerador de C_2H_2.	1. Diminuir a pressão no interior do gerador de C_2H_2; 2. Esfriar o gerador de C_2H_2 mais rapidamente do que o permitido; e 3. Não deixar o reator operacional.	1. Instalar medidor de vazão com alarme de vazão alta; e 2. Instalar medidor de temperatura no reator, com alarme de temperatura baixa; e 3. Instalar medidor de pressão no reator com alarme de pressão baixa.

Quadro 2 – HAZOP parcial do gerador de C_2H_2 (cont.)

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Produção de acetileno				
Sistema: Gerador de C_2H_2			Equipe: Mauro de Paula Resende Jr.	Data: 20/11/2023
Parâmetro: Temperatura do acetileno			Nó: 1	Página: 02
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Nenhuma	Nenhuma temperatura no nó.	1. Ausência de alimentação de CaC_2 ao gerador de C_2H_2 .	1. Não deixar o reator operacional; 2. Desperdício de matéria-prima; e 3. Perda de produção.	1. Instalar alarme de falha do sistema de alimentação de CaC_2 (por meio do emprego de células de carga); e 2. Instalar medidor de temperatura no reator, com alarme de temperatura muito baixa
Menos	Menos temperatura no nó.	1. Pouca alimentação de CaC_2 ao gerador de C_2H_2 .	1. Não deixar o reator operacional; 2. Desperdício de matéria-prima; e 3. Perda de produção.	1. Instalar alarme de falha do sistema de alimentação de CaC_2 (por meio do emprego de células de carga), capaz de detectar vazão baixa; 2. Instalar medidor de temperatura no reator, com alarme de temperatura baixa.
Mais	Mais temperatura no nó	1. Muita alimentação de CaC_2 ao gerador de C_2H_2 .	1. Alimentar o gerador de C_2H_2 com maior massa de CaC_2 do que a requerida; 2. Desperdício de matéria-prima; e 3. Não deixar o reator operacional.	1. Instalar alarme de falha do sistema de alimentação de CaC_2 (por meio do emprego de células de carga) capaz de detectar vazão alta; e 2. Instalar medidor de temperatura no reator, com alarme de temperatura alta.

Quadro 2 – HAZOP parcial do gerador de C_2H_2 (cont.)

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Produção de acetileno				
Sistema: Gerador de C_2H_2			Equipe: Mauro de Paula Resende Jr.	Data: 20/11/2023
Parâmetro: Pressão do acetileno			Nó: 1	Página: 03
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Nenhuma	Nenhuma pressão no nó.	1. Ausência de alimentação de CaC_2 ao gerador de C_2H_2 .	1. Não deixar o reator operacional; 2. Desperdício de matéria-prima; e 3. Perda de produção.	1. Instalar alarme de falha do sistema de alimentação de CaC_2 (por meio do emprego de células de carga), capaz de detectar ausência de vazão; e 2. Instalar medidor de pressão no reator, com alarme de pressão muito baixa
Menos	Menos pressão no nó.	1. Pouca alimentação de CaC_2 ao gerador de C_2H_2 ; 2. Vazamento de C_2H_2 no nó devido a ruptura da tubulação; 3. Vazamento de C_2H_2 no corpo do gerador de C_2H_2 .	1. Não deixar o reator operacional; 2. Desperdício de matéria-prima; 3. Perda de C_2H_2 ; e 4. Perda de produção.	5. Instalar alarme de falha do sistema de alimentação de CaC_2 (por meio do emprego de células de carga), capaz de detectar vazão baixa; 6. Instalar medidor de pressão no reator, com alarme de pressão baixa.
Mais	Mais pressão no nó	1. Muita alimentação de CaC_2 ao gerador de C_2H_2 .	1. Alimentar o gerador de C_2H_2 com maior massa de CaC_2 do que a requerida; 2. Desperdício de matéria-prima; e 3. Não deixar o reator operacional.	1. Instalar alarme de falha do sistema de alimentação de CaC_2 , acusando vazão alta (por meio do emprego de células de carga); e 2. Instalar medidor de pressão no reator, com alarme de pressão alta.

Quadro 3 - HAZOP parcial do gerador de C_2H_2

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Produção de acetileno				
Sistema: Gerador de C_2H_2			Equipe: Mauro de Paula Resende Jr.	Data: 20/11/2023
Parâmetro: Vazão de acetileno			Nó: 2	Página: 01
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Mais	Mais vazão no nó	1. Falha do sistema de alimentação de CaO do gerador de C_2H_2 ; ou 2. Operação indevida, por parte do operador de processo.	1. Diminuir a pressão no interior do gerador de C_2H_2 2. Risco de explosão do C_2H_2 vazado ao entrar em contato com o ar; 3. Esfriar o gerador de C_2H_2 mais rapidamente do que o permitido; e 4. Não deixar o reator operacional.	1. Instalar pressostato com alarme de pressão alta no <i>feed hopper</i> do gerador; e 2. Instalar detector de presença de C_2H_2 próximo ao <i>feed hopper</i> do gerador.

Quadro 3 – HAZOP parcial do gerador de C_2H_2 (cont.)

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Produção de acetileno				
Sistema: Gerador de C_2H_2			Equipe: Mauro de Paula Resende Jr.	Data: 20/11/2023
Parâmetro: Temperatura do acetileno			Nó: 2	Página: 02
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Mais	Mais temperatura no nó	1. Falha do sistema de alimentação de CaC_2 do gerador de C_2H_2 ; ou 2. Operação indevida, por parte do operador de processo.	1. Diminuir a temperatura no interior do gerador de C_2H_2 2. Idem ao apresentado para o parâmetro Vazão de acetileno (vide quadro anterior)	1. Instalar termostato com alarme de temperatura alta no <i>feed hopper</i> do gerador.

Quadro 3 – HAZOP parcial do gerador de C_2H_2 (cont.)

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Produção de acetileno				
Sistema: Gerador de C_2H_2			Equipe: Mauro de Paula Resende Jr.	Data: 20/11/2023
Parâmetro: Pressão do acetileno			Nó: 2	Página: 03
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Mais	Mais pressão no nó	1. Falha do sistema de alimentação de CaO do gerador de C_2H_2; ou 2. Operação indevida, por parte do operador de processo.	1. Diminuir a pressão no interior do gerador de C_2H_2 2. Risco de explosão do C_2H_2 vazado ao entrar em contato com o ar; 3. Esfriar o gerador de C_2H_2 mais rapidamente do que o permitido; e 4. Não deixar o reator operacional.	1. Instalar pressostato com alarme de pressão alta no <i>feed hopper</i> do gerador; e 2. Instalar detector de presença de C_2H_2 próximo ao <i>feed hopper</i> do gerador.

Quadro 4 - HAZOP parcial do gerador de C_2H_2

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Produção de acetileno				
Sistema: Gerador de C_2H_2			Equipe: Mauro de Paula Resende Jr.	Data: 20/11/2023
Parâmetro: Vazão de acetileno			Nó: 3	Página: 01
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Mais	Mais vazão no nó	1. Falha completamente aberta da válvula de segurança do gerador de C_2H_2 ; e 2. Vazamento pela válvula de segurança do gerador de C_2H_2 .	1. Diminuir a pressão no interior do gerador de C_2H_2 ; 2. Risco de explosão do C_2H_2 vazado ao entrar em contato com o ar; 3. Esfriar o gerador de C_2H_2 mais rapidamente do que o permitido; e 4. Não deixar o reator operacional.	1. Instalar detector de presença de C_2H_2 próximo válvula de segurança do gerador.

4.2 Estimativa da extensão da área classificada

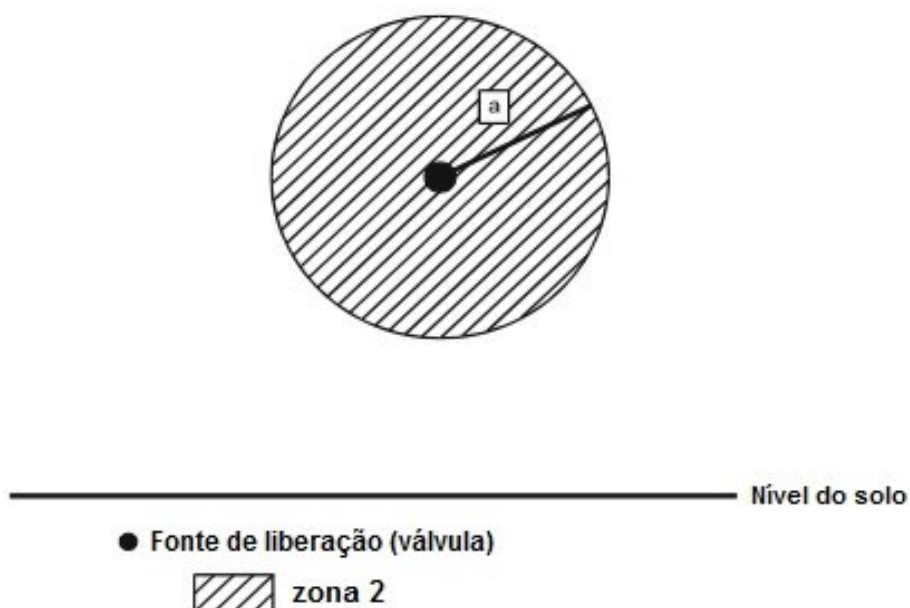
A estimativa da extensão das áreas classificadas correspondentes aos nós estudados será realizada com base no procedimento recomendado ANSI/ISA–TR12.24.01–1998 (IEC 79-10 Mod) (ISA, 2000).

O primeiro nó a ser estudado é o **Nó (1)**, definido na posição correspondente à tubulação de saída do C_2H_2 . A situação de desvio da intenção normal de operação correspondente a este nó seria classificada com um potencial vazamento do C_2H_2 por meio de uma das conexões de processo.

A estimativa da extensão da área classificada correspondente a este nó pode ser equiparada à situação de vazamento de um gás inflamável pela gaxeta de uma válvula de controle, dado que a quantidade de produto liberado não seria muito grande. Não se considerou aqui um vazamento catastrófico decorrente da ruptura da referida tubulação.

De acordo com a referência citada no início deste subitem, a situação pode ser representada – de modo simplificado – por meio do diagrama esquemático mostrado na **Figura 6**.

Figura 6 - Representação esquemática do vazamento pelo Nó (1)



Fonte: ISA (2000)

Para o **Nó (1)**, foram postuladas as seguintes premissas:

a) Ventilação:

- i. tipo: natural
- ii. grau: médio
- iii. disponibilidade: adequada

b) Fonte do vazamento: gaxeta da haste da válvula, próxima ao corpo

c) Grau do vazamento: secundário

d) Produto:

- i. gás acetileno (C_2H_2)
- ii. densidade do gás: praticamente igual à do ar atmosférico

Considerando a recomendação apresentada em **ISA (2000)**, o valor do raio “a” mostrado na **Figura 6** é aproximadamente igual a 1 metro, medido a partir do ponto de vazamento.

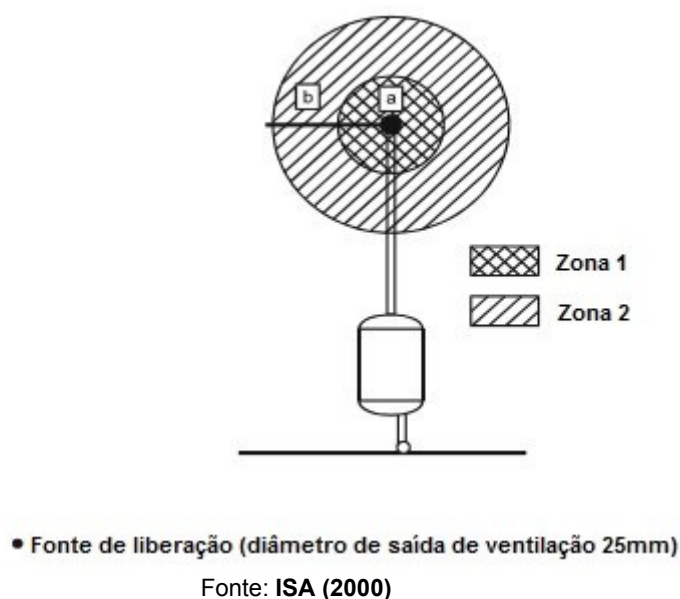
Diante do exposto, a extensão da área classificada como **Zona 2** correspondente ao **Nó (1)** seria representada por uma esfera com um volume aproximado de $4,19 \text{ m}^3$ e área superficial de $12,57 \text{ m}^2$.

O segundo nó a ser estudado é o **Nó (2)**, definido na posição correspondente ao alimentador de CaC_2 do gerador de C_2H_2 . A situação de desvio da intenção normal de operação correspondente a este nó seria classificada com um potencial vazamento do C_2H_2 por meio do referido alimentador.

A estimativa da extensão da área classificada correspondente a este nó pode ser equiparada à situação de vazamento de um gás inflamável por uma válvula de alívio de pressão/quebra-vácuo, dado que a quantidade de produto liberado poderia ser significativa. Não se considerou aqui um vazamento catastrófico decorrente de uma falha na posição totalmente aberta da válvula de alimentação de CaC_2 do gerador de C_2H_2 .

De acordo com a referência citada no início deste subitem, a situação pode ser representada – de modo simplificado – por meio do diagrama esquemático mostrado na **Figura 7**.

Figura 7 - Representação esquemática do vazamento pelo Nó (2)



Para o **Nó (2)**, foram postuladas as seguintes premissas:

a) Ventilação:

- i. tipo: natural
- ii. grau: médio
- iii. disponibilidade: adequada

b) Fonte do vazamento: conexão de saída da válvula instalada abaixo do alimentador de CaC_2 do gerador de C_2H_2 .

c) Grau do vazamento: primário

d) Produto:

- i. gás acetileno (C_2H_2)
- ii. densidade do gás: praticamente igual à do ar atmosférico

Considerando a recomendação apresentada em **ISA (2000)**, os valores dos raios “a” e “b” mostrados na **Figura 7** são respectivamente iguais a 3 metros e 5 metros, medidos a partir do ponto de vazamento.

A extensão da área classificada como **Zona 1**, correspondente ao **Nó (2)** seria representada por uma esfera com um volume aproximado de $113,10 \text{ m}^3$ e área superficial aproximada de $113,10 \text{ m}^2$.

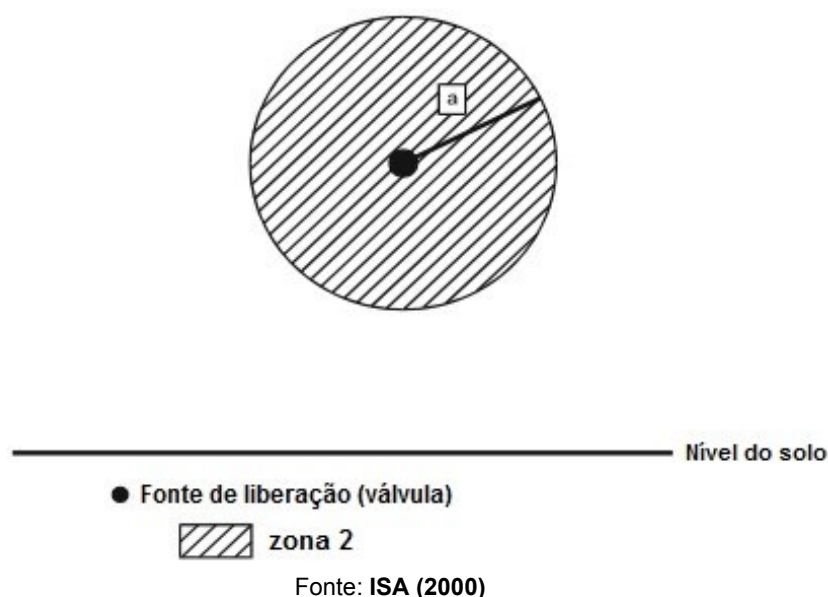
Diante do exposto, a extensão da área classificada como **Zona 2**, correspondente ao **Nó (2)** seria representada por uma esfera anular com um volume aproximado de 410,50 m³ e área superficial externa aproximada de 314,16 m² e área superficial interna aproximada de 113,10 m².

O terceiro nó a ser estudado é o **Nó (3)**, definido na posição correspondente às válvulas de segurança instaladas no gerador de C_2H_2 . A situação de desvio da intenção normal de operação correspondente a este nó seria classificada com um potencial vazamento do C_2H_2 por meio da abertura indevida das referidas válvulas.

A estimativa da extensão da área classificada correspondente a este nó pode ser equiparada à situação de vazamento de um gás inflamável por uma válvula de segurança, dado que a quantidade de produto liberado poderia ser significativa. Não se considerou aqui um vazamento catastrófico decorrente de uma falha na posição totalmente aberta das válvulas de segurança do gerador de C_2H_2 .

De acordo com a referência citada no início deste subitem, a situação pode ser representada – de modo simplificado – por meio do diagrama esquemático mostrado na **Figura 8**.

Figura 8 - Representação esquemática do vazamento pelo Nó (3)



Para o **Nó (3)**, foram postuladas as seguintes premissas:

a) Ventilação:

- i. tipo: natural
- ii. grau: médio
- iii. disponibilidade: adequada

b) Fonte do vazamento: bocal de saída da válvula de segurança do gerador de C_2H_2 .

c) Grau do vazamento: secundário

d) Produto:

- i. gás acetileno C_2H_2
- ii. densidade do gás: praticamente igual à do ar atmosférico

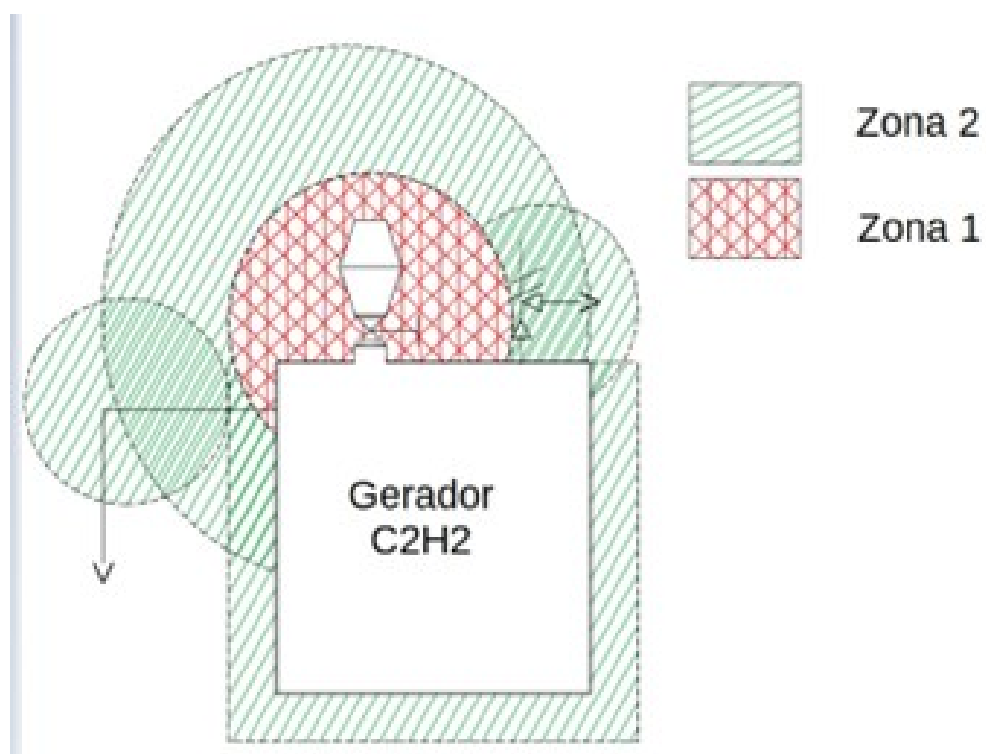
Considerando a recomendação apresentada em **ISA (2000)**, o valor do raio “a” mostrado na **Figura 8** é igual a 1 metro, medido a partir do ponto de vazamento.

A extensão da área classificada como **Zona 2**, correspondente ao **Nó (3)** seria representada por uma esfera com um volume aproximado de $4,19 \text{ m}^3$ e área superficial aproximada de $12,57 \text{ m}^2$.

Com base na análise apresentada, seria interessante considerar que o vazamento do C_2H_2 – caso ocorresse – tenderia a sofrer um processo de mistura gradual com o ar atmosférico, ficando ao redor do equipamento.

Diante da hipótese citada no parágrafo anterior, o equipamento como um todo estaria envolvido por uma região que poderia ser classificada como **Zona 2**. Neste cenário, a envoltória correspondente teria a espessura de aproximadamente 3 metros (**ISA, 2000**). Na **Figura 9** é apresentado um esquema com a visualização de todas as áreas classificadas consideradas na análise.

Figura 9 - Representação das zonas correspondentes às áreas classificadas



Fonte: **Autoria própria (2024)**

5 CONCLUSÃO

Foi possível observar, a partir do desenvolvimento deste trabalho, que o acetileno desempenha um importante papel no setor industrial, sendo utilizado em diferentes aplicações.

Ao mesmo tempo, se pode avaliar o perigo oferecido pelos equipamentos utilizados na fabricação do acetileno, considerando o emprego da técnica conhecida como HAZOP. Esta técnica é muito útil na análise de situações que possam apresentar risco de explosão devido a presença de atmosfera explosiva.

No processo estudado, foi constatado que caso ocorresse vazamento do acetileno na válvula de segurança ou em alguma conexão do processo, esse misturar-se-ia com o ar atmosférico e tornaria a região uma área com atmosfera explosiva ao redor do equipamento.

Os pontos do equipamento que possam oferecer risco de explosão também foram encontrados, realizando uma análise de possíveis causas e consequências, além de providências. No primeiro ponto, a posição correspondente é definida na tubulação de saída do C_2H_2 , no segundo ponto, no alimentador de CaC_2 e no terceiro ponto, nas válvulas de segurança instaladas no gerador.

Este estudo também contribuiu para quantificar o volume das regiões de entorno dos pontos do equipamento que possam oferecer risco de explosão com a presença de gases inflamáveis.

Portanto, diante do exposto no presente trabalho, pode-se sugerir a continuação dos estudos realizados, considerando o emprego de simuladores computacionais de modo a permitir uma análise mais abrangente do tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM. **O desempenho da indústria química brasileira – 2022**. Disponível em: < <https://abiquim.org.br/industriaQuimica> > Acesso em: 14/07/2022

ASIA INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION. **Mechanical integrity of generator systems in acetylene plants**. Asia Industrial Gases Association, ed. 121, ano 2022. Disponível em: <https://www.asiaiga.org>

American Chemical Council. Produção global de produtos químicos. Disponível em: <<https://www.americanchemistry.com/>> Acesso em: 08/07/2022

BADISCHE ANILIN & SODA FABRIK AND ACETYLENE. **50 Years of Natural Gas based Acetylene Production – Now the Only Clean Technology for Acetylene Production**. Germany. 22 May 2014. Disponível em: <https://tufreiberg.de/sites/default/files/media/professur-fuer-energieverfahrenstechnik-und-thermischerueckstandsbehandlung-16460/publikationen/2014-19-1.pdf>. p. 3-5.

CHEMANALYST. Acetylene Market Analysis: Plant Capacity, Production, Operating Efficiency, Technology, Demand & Supply, End-User Industries, Distribution Channel, Regional Demand, 2015-2030. Disponível em: <<https://www.chemanalyst.com/industry-report/acetylene-market-628> > Acesso em: 08/07/2022

CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA. **Parecer nº 5/2018/CGAA4/SGA1/SG. Requerentes: Praxair, Inc. e Linde AG. Fusão. Mercados regionais de gases industriais e especiais fornecidos a granel e por cilindros**. Brasília: Sistema Eletrônico de Informação, 4 Mai. 2018. https://sei.cade.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?DZ2uWeaYicbuRZEFhBtn3BfPLlu9u7akQAh8mpB9yPEWwTS_vqPpDIO5JIHgQZ4leeLPNKspeHt-ITzsTba69sroP_yXPg6PyNGwMq2vBY2e0uvL1rB92Oy9AhbYh.

CONSELHO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Perfil da indústria nos estados**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/>> Acesso em: 09/07/2022

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. **Segurança de Processos Químicos - Fundamentos e Aplicações**. 3ª ed., LTC. 2015.

DWECK, J; ZAKON, A. **Acetileno – Processos unitários inorgânicos**. Rio de Janeiro, 3 Mai. 1982. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ambientesquimicos.eq.ufrj.br/Nosso_ambito_files/1982%20JD-AZ%20DPI-EQUFRJ%20-%20Acetileno.pdf> Acesso em: 12/07/2022

GEDRAITE, R. **Notas de aula da disciplina Segurança e Análise de Risco em Processos Industriais**. Comunicação pessoal. UFU, 2019, Uberlândia/MG.

JI, Leiming; LIU, Qingya; LIU, Zhenyu. Thermodynamic analysis of calcium carbide production. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 53, n. 6, p. 2537-2543, 2014.

MESSER GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG. **Ficha de Informação de segurança de produto químico – FISPQ. Acetileno**. 29 Mai. 2019. Disponível em: <<https://www.messer-br.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2019/08/ACETILENO.pdf>> Acesso em: 01/07/2022

MORRISON, R. T; BOYD, R. N. **Química orgânica**. 16. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011.

NOVA CANA. **As usinas de açúcar e etanol do Brasil - Por estado**. Disponível em: https://www.novacana.com/usinas_brasil. Acesso em: 02/07/2022

PÄSSLER, Peter et al. **Acetylene**. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, 2000.

Processo Wulff: Nova Era para a produção de Acetileno e Oleofinas. **Revista de Química Industrial**, Rio de Janeiro, ed. 451, ano 1969, Mensal.

REXARC. **Acetylene plants**. Disponível em: <https://www.rexarc.com/acetylene-plant>. Acesso em: 28/07/2022

ROSSING, N.L.; LIND, M.; NIELS, J.; JØRGENSEN, S.B. **A Functional HAZOP Methodology**. *Computers and Chemical Engineering* 34, 2010, 244-253.

SILVA, A. B. **Análise de Risco do Processo de produção de resina para tinta automotiva**. Trabalho de Conclusão de Curso. UFU, 2019, Uberlândia/MG.

SWANN, C.D.; PRESTON, M.L. **Twenty-five years of HAZOPs**. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 1995, 8(6), 349–353.