MANUAL

CONTROLE DE RISCOS ATMOSFÉRICOS EM ESPAÇOS CONFINADOS

Spinelli
criador de conteúdos

IBR

KEBOS

Amprot
Equipamentos

RANGER
LCCM

VERTICAL®
SEGURANÇA DO TRABALHO

HOVERTEX
PROTEÇÃO PARA TRABALHOS EM ALTURA

Julho de 2024

Luiz Spinelli

www.spinelli.blog.br

luiz@spinelli.blog.br

Copyright © 2024

Direitos reservados

Spinelli, Luiz Eduardo

São Paulo - SP - Brasil

Julho de 2024.

Capa de
Luiz E. Spinelli

Texto e diagramação de
Luiz E. Spinelli

Ilustrações de
Luiz E. Spinelli

Advertências

É proibida a utilização das imagens contidas nesta obra sem a expressa autorização por escrito do autor.

É proibida a venda desta obra.

A reprodução desta obra é permitida somente na sua íntegra, sem exclusões, inserções ou alterações.

PATROCÍNIO

AMPROT
www.amprot.com.br

KEBOS
www.kebos.com.br

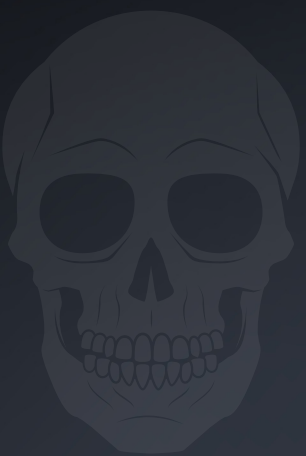
IBR Brasil
www.ibrbrasil.ind.br

RANGER
www.rangersms.com.br

VERTICAL
www.vtreinamentos.com.br

HOVERTEX
www.hovertex.com.br

Nunca substime os riscos atmosféricos



Invisíveis e mortais

Imagens Freepik
Caveira: rawpixel.com

A falta de oxigênio ou a presença de alguns gases tóxicos, asfixiantes e inflamáveis não pode ser percebida pelos sentidos humanos, como visão, olfato e tato.

Há meios de avaliar, monitorar, eliminar ou se proteger dos ricos atmosféricos em espaços confinados.

Este manual abordará esses meios de forma didática.

Foto: Freepik

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

O foco deste manual

Uma obra que reúne temas como detecção de gases, ventilação e proteção respiratória seria gigantesca se não houvesse o cuidado em selecionar necessidades e soluções específicas.

Os riscos atmosféricos podem ser provenientes de gases, vapores e particulados, e além dos químicos, podem ser incluídos os riscos térmicos e pneumáticos. Em meio a essa diversidade, este manual enfocará os químicos.

Substâncias nocivas podem contaminar uma pessoa por vias diferentes, tais como ingestão, absorção da pele ou inalação. Este manual enfocará os riscos provenientes da inalação.

A abordagem de tais assuntos será direcionada para às rotinas de trabalhos em espaços confinados, e no capítulo sobre proteção respiratória o foco será a condição caracterizada como atmosfera imediatamente perigosa à vida e à saúde (IPVS). Portanto, embora esta obra ofereça conteúdos imprescindíveis e de forma ricamente ilustrada e didática, ela não esgotará o tema.

A MISSÃO DE PROTEGER

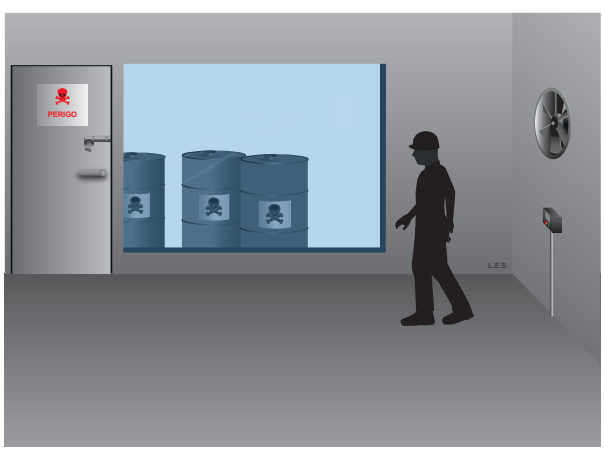
Desde a chamada revolução industrial, há mais de cem anos, a proteção e o bem estar dos trabalhadores vem ganhando cada vez mais importância na nossa sociedade. Ainda há muito o que progredirmos nessa missão, mas ela nunca foi tão relevante e valorizada como é atualmente.

É um fato que os ambientes de trabalho e suas rotinas oferecem muitas fontes de perigo e inúmeros tipos de riscos, e diante disso, para preservar a saúde e a vida dos trabalhadores uma ordem de prioridades deve ser respeitada. Como podemos ver abaixo:

Primeiro

Não submeta o trabalhador ao risco

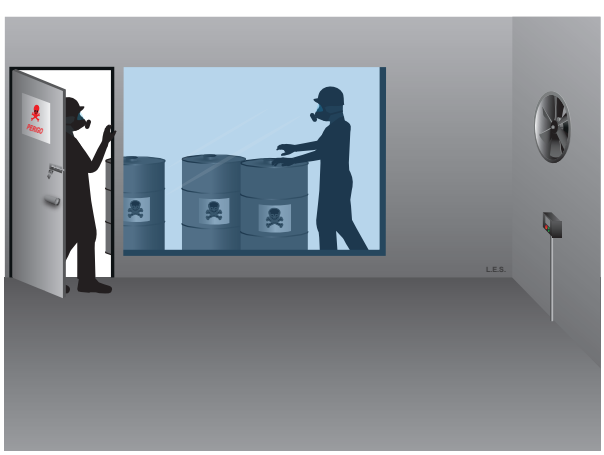
Deve-se planejar os trabalhos e os processos de forma que não haja a presença de substâncias perigosas que possam afetar os trabalhadores, ou que eles não tenham que ter contato com os contaminantes.



Segundo

Torne o ambiente seguro

Se não for possível poupar o trabalhador de atividades perigosas, devem ser adotadas medidas para que o ambiente onde ele vai atuar seja seguro.



Terceiro

Adote o uso de EPR

Em situações de emergência, ou quando a implementação das medidas coletivas não for viável, ou estiverem em processo de instalação, ou não forem consideradas suficientes, devem ser adotadas medidas de ordem individual, como o uso dos Equipamentos de Proteção Respiratória (EPR).

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Você tem acesso a esta obra graças ao investimento das empresas listadas nesta página. Sugiro que você as prestigie buscando conhecer os seus produtos e serviços.

Luiz Spinelli

Patrocinadores

AMPROT
www.amprot.com.br

KEBOS
www.kebos.com.br

IBR Brasil
www.ibrbrasil.ind.br

RANGER
www.rangersms.com.br

VERTICAL
www.vtreinamentos.com.br

HOVERTEX
www.hovertex.com.br

Apoio

LCF COSTA
https://lcfccostaservicos.my.canva.site/lcfcostasafetyrespiratoria

AVERTY
www.averty.com.br

ÍNDICE

Capítulo 1 - FUNDAMENTOS - NOÇÕES DE QUÍMICA 14
ÁTOMOS 16
O que são esses elementos? 16
Sobre o oxigênio 17
MOLÉCULAS 18
SÍMBOLOS QUÍMICOS 19
Fórmula química 19
GASES 22
PROPRIEDADES DOS GASES 23
Densidade e peso 24
Densidade relativa dos gases 26
Difusão 27
Viscosidade dos gases 27
OS GASES QUE FORMAM O AR RESPIRÁVEL 28
VAPORES 29
POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH) 30
COMBUSTÃO 32
INFLAMABILIDADE 34

Capítulo 2 – FUNDAMENTOS - NOÇÕES DE FÍSICA 37
GRANDEZAS 38
UNIDADES DE MEDIDA 39
VOLUME 41
Volume dos gases 42
A porcentagem de volume (%) 43
Para frações muito pequenas: ppm 43
VAZÃO 44
PRESSÃO 45
A unidade pascal e a relação com outras unidades 46
PRESSÃO ATMOSFÉRICA 47
Pressão parcial (pp) 48
ENERGIA ESTÁTICA E ELETRIZAÇÃO POR ATRITO 49

ÍNDICE

Capítulo 3 – RISCOS – ATMOSFÉRICOS	51
PERIGOS E RISCOS	52
RISCOS OCUPACIONAIS	53
AS CONSEQUÊNCIAS DA EXPOSIÇÃO AO RISCO	54
VIAS DE CONTAMINAÇÃO	55
IMEDIATAMENTE PERIGOSO À VIDA E A SAÚDE (IPVS)	56
O AR DO QUAL PRECISAMOS	59
O VOLUME IDEAL DE OXIGÊNIO	60
CONSUMO DE AR DE UM SER HUMANO	61
A PRESSÃO NECESSÁRIA DE OXIGÊNIO	62
A FUNÇÃO DO OXIGÊNIO NO ORGANISMO	64
O TRAJETO DO OXIGÊNIO NO ORGANISMO	65
ALTERAÇÕES NA OFERTA DE OXIGÊNIO	66
Insuficiência de oxigênio	66
Enriquecimento de oxigênio	67
TOXIDEZ	70
CLASSIFICAÇÃO DOS GASES	71
LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	72
Quem estabelece os limites de tolerância?	75
ACGIH	76
CONHECENDO OS RISCOS	77
Exemplos – monóxido de carbono	79
Exemplos – dióxido de carbono	80
Exemplos – sulfeto de hidrogênio	81
Exemplos – amônia	82
PARTICULADOS	84
INFLAMABILIDADE E EXPLOSIVIDADE	87
Áreas classificadas	87
Zoneamento das áreas classificadas	88
Equipamentos elétricos e eletrônicos para áreas classificadas	89
E quando a área não é classificada, mas o perigo surge?	90
POEIRAS COMBUSTÍVEIS	92

ÍNDICE

Capítulo 4 - Avaliação atmosférica - Detecção de gases 99
DETECÇÃO DE GASES 100
Como detectar? 101
SENSORES 104
Sensores eletroquímicos 105
Sensores catalíticos 106
Sensores infravermelhos 108
Sensores fotoionizadores ou PID 110
TEMPO DE RESPOSTA 112
FATORES AMBIENTAIS 113
SENSIBILIDADE CRUZADA 114
DETECÇÃO DO RISCO DE EXPLOSIVIDADE 115
DETECTORES PORTÁTEIS DE GÁS 117
CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES BÁSICAS 118
ACESSÓRIOS 121
CALIBRAÇÃO 126
TESTE DE RESPOSTA 127
AJUSTE DE AUTO-ZERO 128
CALIBRAÇÃO RBC 129
ESPECIFICAÇÕES PARA A SELEÇÃO DOS DETECTORES 132
UTILIZAÇÃO DOS DETECTORES 136

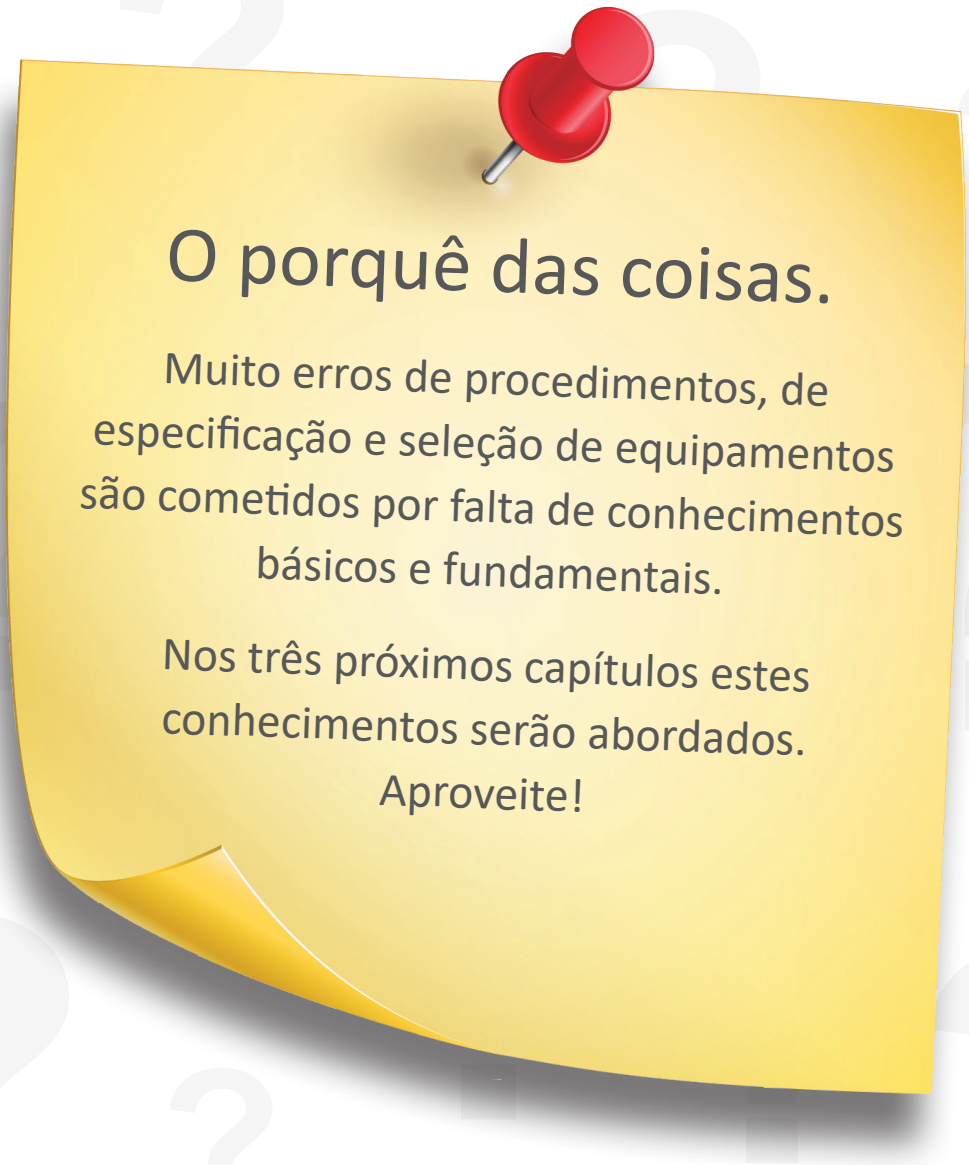
Capítulo 5 - Ventilação em espaços confinados 141
VENTILAÇÃO 143
POR QUE VENTILAR? 144
VENTILAÇÃO MECÂNICA 145
Devemos chamá-los de EXAUSTORES ou VENTILADORES? 146
PURGA 147
AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO 148
VAZÃO 149
A VAZÃO REAL 150
REDUÇÃO DE VAZÃO 151
ENSAIOS DE VENTILAÇÃO 153
TIPOS DE VENTILADORES 157
Motorização 158
Ventilador tipo Axial 159
Os modos insuflação e exaustão 160

ÍNDICE

Ventilador Centrífugo	162
Ventilador tipo Venturi	163
Ventiladores para atmosferas explosivas	164
MÉTODOS DE VENTILAÇÃO	168
Equilíbrio de pressão	170
Deve-se considerar a densidade dos gases	171
Ventilação geral	172
Ventilação local	173
Ventilação conjugada	174
PROBLEMAS E SOLUÇÕES NA VENTILAÇÃO	175
O alinhamento das entradas	175
Recirculação dos contaminantes	178
Obstáculos	180
Contaminação do meio ambiente externo	181
Captura acidental de contaminantes	182
CÁLCULOS DE VENTILAÇÃO	185
Volume	186
Espaços em formato de cubo ou paralelepípedo	187
Espaços em formato de cilindro	188
Determinação da vazão do ventilador	189
Os dois fatores principais	190
Trocas de ar	191
Ventilação inicial para liberação do espaço confinado	192
Manutenção das boas condições atmosféricas	193
Tabela de trocas de ar	194
Capítulo 6 - Proteção Respiratória para atmosferas IPVS	196
PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA	198
Visão geral	198
Equipamentos purificadores de ar ou dependentes	199
Fator de Proteção Atribuído (FPA)	200
EQUIPAMENTOS DE ADUÇÃO DE AR OU INDEPENDENTES	202
Equipamentos autônomos (máscara autônoma)	203
EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS	204
Componentes básicos de um equipamento autônomo	206
PSIA e PSIG	210
Cilindros de ar comprimido	211
Material de construção do cilindro	212

ÍNDICE

Volume x Pressão	213
Pressão dos cilindros	214
Volume de ar nos cilindros	214
Autonomia e reserva de segurança	215
SISTEMA DE LINHA DE AR COMPRIMIDO	217
Caracterização	217
Sistema para ambientes com atmosfera IPVS	218
Componentes básicos do sistema	219
Exemplos de sistemas	221
Operação de resgate com o uso de linha de ar comprimido	222
FORNECIMENTO DE AR	223
Sistemas geradores de ar comprimido	223
Compressores de ar	224
Os compressores de ar limpo	224
Os compressores mais populares	225
Compressores de pistão	227
Compressores rotativos de parafuso	228
QUALIDADE DO AR	230
Padrão para a qualidade do ar	230
A garantia de um ar saudável	231
Componentes do sistema que garantem a qualidade do ar	232
Umidade e ponto de orvalho	233
Avaliação e monitoramento da qualidade do ar	234
CAPACITAÇÃO DOS ENVOLVIDOS	236
CUIDADOS	237
A máscara certa para cada rosto	237
Teste de vedação quantitativo	238
CUIDADOS BÁSICOS	239
INSPEÇÕES	241
Sistema de linha de ar comprimido	243
Teste de funcionalidade e segurança	245
Teste hidrostático de cilindros	246
LIMPEZA E HIGIENIZAÇÃO	247
Limpeza e higienização da peça facial inteira	249
Limpeza externa do conjunto	250



O porquê das coisas.

Muito erros de procedimentos, de especificação e seleção de equipamentos são cometidos por falta de conhecimentos básicos e fundamentais.

Nos três próximos capítulos estes conhecimentos serão abordados.
Aproveite!

Capítulo 1

FUNDAMENTOS

NOÇÕES DE QUÍMICA

Relembrar alguns fundamentos da química é essencial para compreender os procedimentos e tecnologias usados na proteção de trabalhadores.

TABELA PERIÓDICA

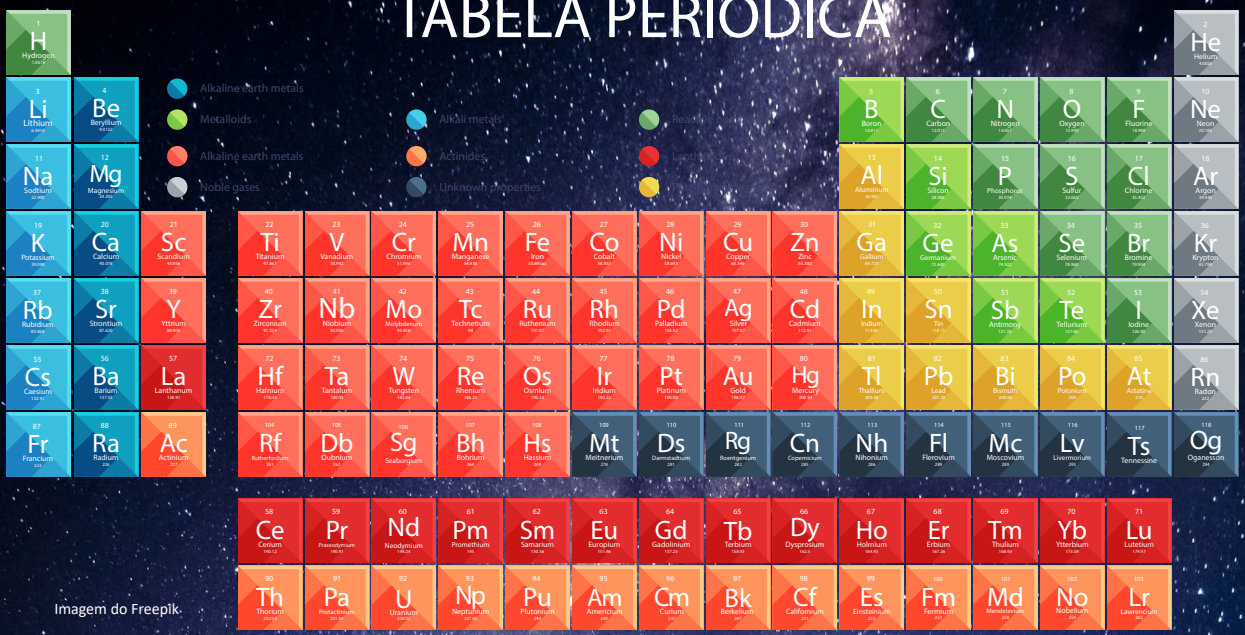


Imagem do Freepik.

Tudo o que existe no universo conhecido é formado pela combinação de pouco mais de 100 elementos.

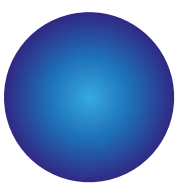
Imagem do Wirestock no Freepik

ÁTOMOS

O que são esses elementos?

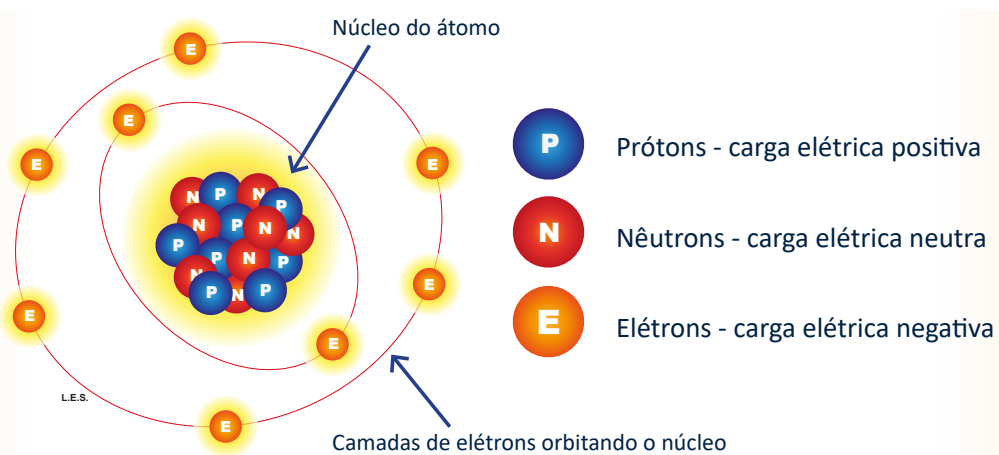
A ideia da existência do átomo é muito antiga. No século quinto antes da era cristã, filósofos como Demócrito e Leucipo, utilizaram o termo "átomo" para definir a menor partícula que forma a matéria. Eles imaginavam que ao dividir sucessivamente um material acabariam chegando a uma partícula tão pequena que não seria mais possível dividi-la. Foi essa partícula indivisível da matéria que recebeu o nome de átomo.

No ano de 1808, o pesquisador John Dalton elaborou um modelo para os átomos. Ele imaginou que o átomo teria um formato esférico, que seria maciço, indivisível e indestrutível. Essa imagem de um átomo esférico e maciço gerou o apelido de “bola de bilhar” para o modelo .



Modelo do átomo imaginado por John Dalton em 1808.

Com os avanços da ciência no entendimento do átomo, descobriu-se que o átomo não é indivisível, mas que é composto por partículas menores.



A estrutura de um átomo é formada por um núcleo denso. Esse núcleo é formado por dois tipos de partículas, os prótons e os neutros. Os prótons têm carga elétrica positiva e os nêutros, como o próprio nome sugere, são eletricamente neutros. Essa característica estabiliza o núcleo, fazendo com que as partículas se mantenham unidas.

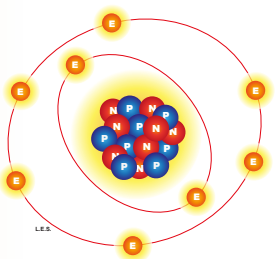
Em órbita do núcleo encontram-se os elétrons, que são partículas de carga elétrica negativa.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

ÁTOMOS

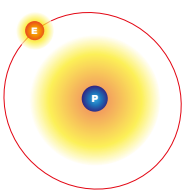
O elemento usado na página anterior para representar um modelo de átomo foi o oxigênio. O átomo de oxigênio é formado por um núcleo com um número igual de prótons e nêutrons. O mesmo número forma o grupo de elétrons que orbitam esse núcleo. As diferentes quantidades dessas partículas é que dão origem à variedade de elementos no universo que, como já mencionado, não é grande.

O átomo de oxigênio é composto por:



- P — 8 Prótons
- N — 8 Nêutrons
- E — 8 Elétrons

O átomo de hidrogênio é o mais simples do universo conhecido. É formado por:

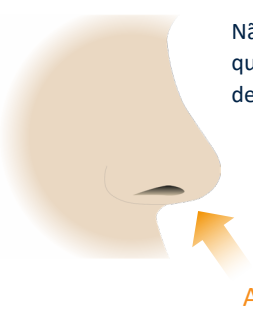


- P — 1 Próton
- E — 1 Elétron

Sobre o oxigênio

É de conhecimento comum que o oxigênio é essencial para a manutenção da vida no planeta terra, mas ter átomos de oxigênio na nossa atmosfera não basta, precisamos do gás oxigênio.

O gás oxigênio é formado por moléculas, que por sua vez são compostas pela união de dois átomos de oxigênio. A seguir será melhor explicado o que são as moléculas.



Não basta haver átomos de oxigênio. É preciso que haja o gás oxigênio, formado por moléculas de oxigênio.

Ar com oxigênio

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

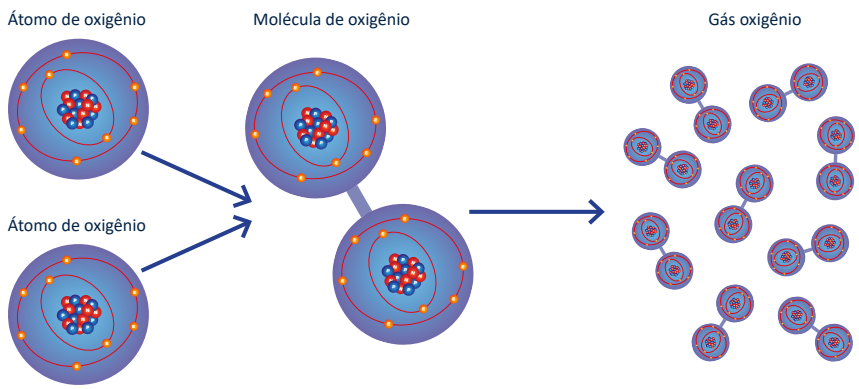
MOLÉCULAS

O que são essas tais moléculas?

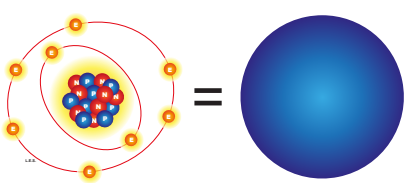
As moléculas são agrupamentos de átomos, pela ligação química entre átomos iguais ou diferentes.

Podemos usar como exemplo as moléculas do gás oxigênio, que se constituem da ligação de dois átomos iguais, dois átomos do elemento oxigênio ligados quimicamente.

A união de moléculas de oxigênio forma o gás oxigênio, que é o que precisamos para nos manter vivos.

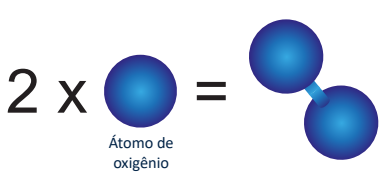


Daqui em diante vamos utilizar a esfera de John Dalton para representar os átomos.



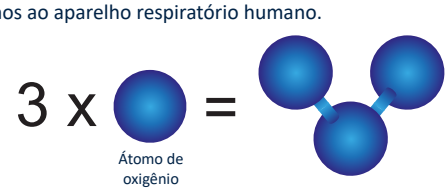
Uma molécula formada por dois átomos de oxigênio é essencial para a respiração do corpo humano. Entretanto, se uma molécula for formada por um átomo a mais de oxigênio, dará origem a um outro tipo de gás, o ozônio. O ozônio é um gás que nas camadas mais altas da atmosfera terrestre absorve parte da radiação ultravioleta, protegendo os seres vivos de níveis perigosos dessa radiação. Mas se respirado, dependendo da concentração, pode causar danos ao aparelho respiratório humano. Perceba que há muita diferença na ação dos dois gases (oxigênio e ozônio) apesar de quimicamente se diferenciarem apenas por um átomo a mais ou a menos de oxigênio em suas moléculas.

Quando 2 átomos de oxigênio se unem formam a molécula do gás chamado oxigênio, que é o gás que respiramos e que nos mantém vivos.



Molécula de oxigênio

Quando 3 átomos de oxigênio se unem formam a molécula do gás chamado ozônio, que é usado na purificação de água, ataca proteinas, pode ser tóxico para plantas e pode causar danos ao aparelho respiratório humano.



Molécula de ozônio

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

SÍMBOLOS QUÍMICOS

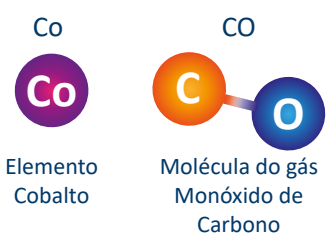
A necessidade de representar elementos químicos é muito antiga. Na idade média, desde o tempo da alquimia (uma mistura de ciência, arte e magia), buscava-se estabelecer símbolos para os elementos químicos. Os alquimistas usaram de representações astrológicas como símbolos. Por exemplo, usaram o desenho do sol para simbolizar o ouro, ou o desenho da lua para simbolizar a prata.

Somente no início do século dezenove é que surgiu um padrão mais fácil de representação que se estabeleceu como universal. Em 1814 o químico sueco Jons Jakob Berzelius (1779-1848) propôs o uso de letras para designar os elementos químicos, usando as letras iniciais do nome latino desses elementos. Usa-se a primeira letra em maiúsculo e, em alguns casos, uma segunda letra em minúsculo. Veja alguns exemplos:

Exemplos de símbolos químicos

Elemento químico	Nome em latim	Símbolo
Carbono	Carbonium	C
Cálcio	Calcium	Ca
Oxigênio	Oxygenium	O
Ouro	Aurum	Au
Prata	Argentum	Ag

É importante compreender que quando o símbolo de um elemento químico usa uma segunda letra, ela precisa ser minúscula, para não confundir com o símbolo de uma molécula. Por exemplo, Co designa o elemento Cobalto, enquanto o símbolo CO designa uma molécula do gás monóxido de carbono (C=Carbono + O=Oxigênio).



Elemento Cobalto

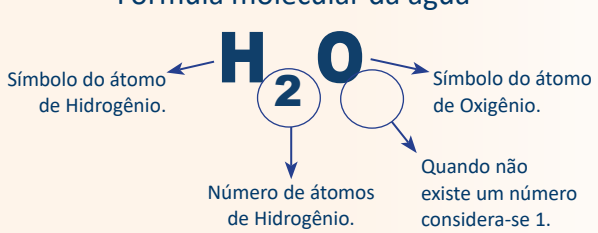
Molécula do gás Monóxido de Carbono

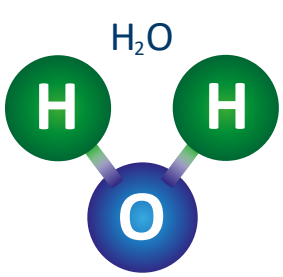
Fórmula química

Existem diferentes formas de representar uma fórmula química, ou seja, de representar a estrutura de átomos que forma uma molécula ou uma combinação de moléculas. A que vamos adotar neste manual será a representação mais simples entre as opções, a fórmula molecular, , que indica quais são os átomos e qual a quantidade deles numa determinada molécula.

Para essa representação usa-se o símbolo químico dos elementos e através de números são indicadas as quantidades de cada átomo que constitui a molécula. Veja alguns exemplos:

Fórmula molecular da água

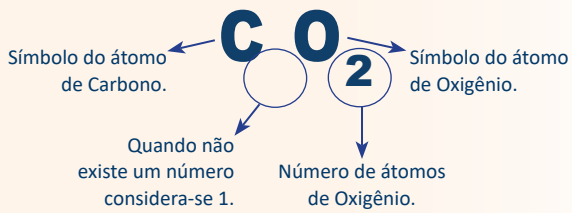


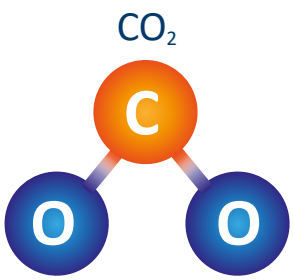


Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

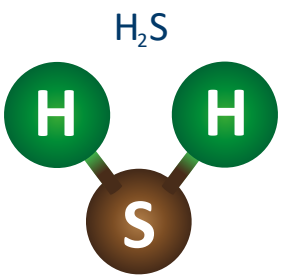
SÍMBOLOS QUÍMICOS

Fórmula molecular do dióxido de carbono (Gás carbônico)

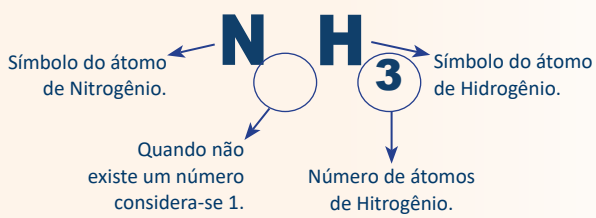


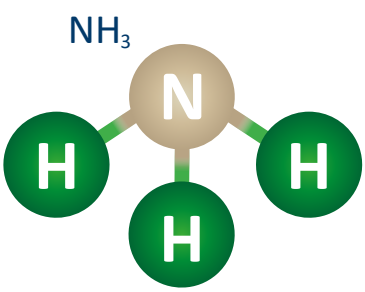


Fórmula molecular do Sulfeto de Hidrogênio (Gás sulfídrico)



Fórmula molecular da Amônia (Amônia anidra)





E daí?!

Compreender os símbolos e as fórmulas químicas é essencial para a leitura de textos técnicos e para algumas atividades rotineiras como, por exemplo, a leitura dos aparelhos de detecção de gases.

Não é possível assumir atribuições no controle de riscos atmosféricos sem o conhecimento do que é mais básico e elementar da química.

Indicação da leitura usando as fórmulas químicas das substâncias medidas.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Os gases apresentam propriedades que os diferenciam uns dos outros, e conhecer essas propriedades é essencial para a aplicação das medidas de controle como a detecção de gases, a ventilação e a proteção respiratória.

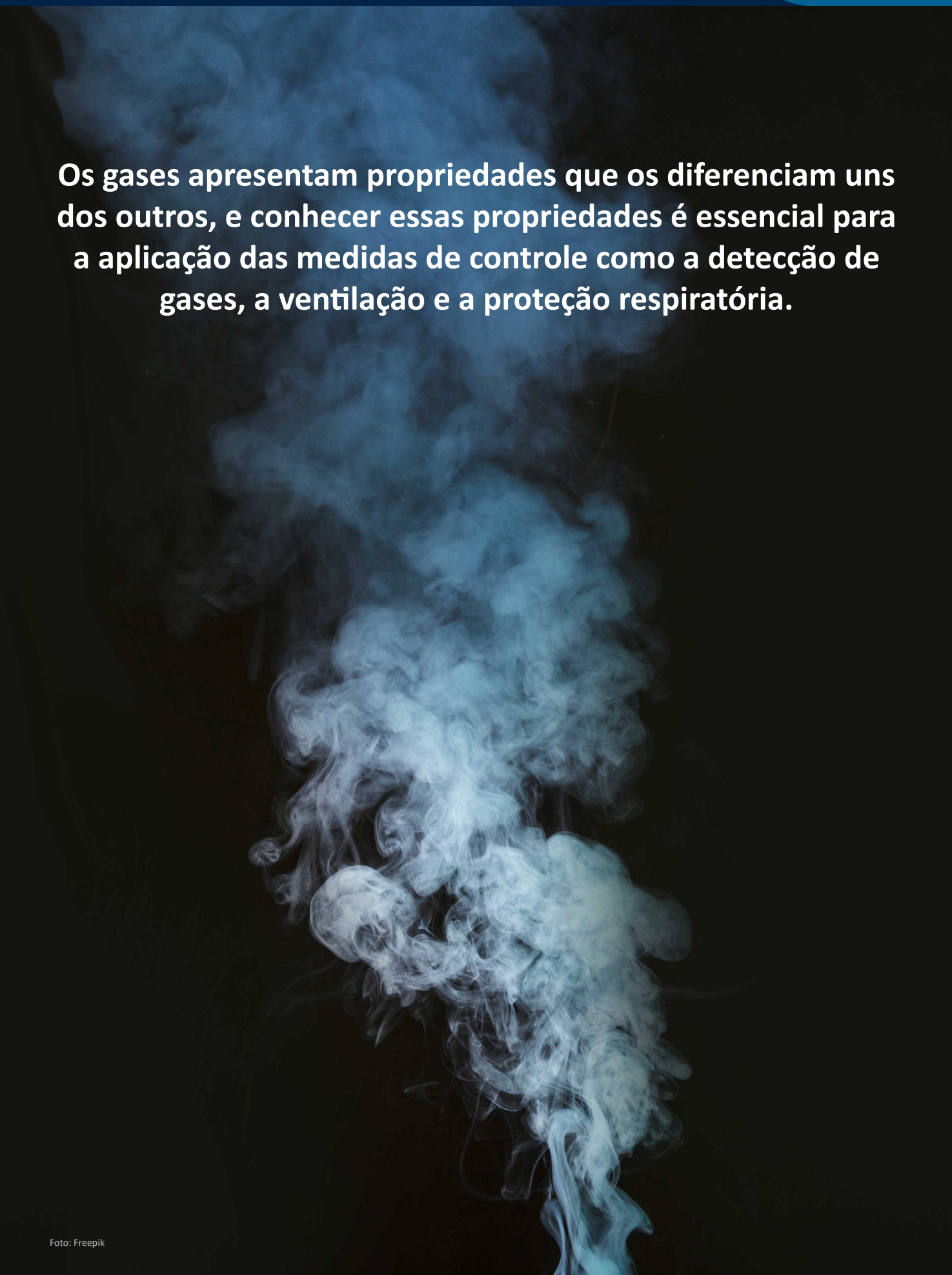
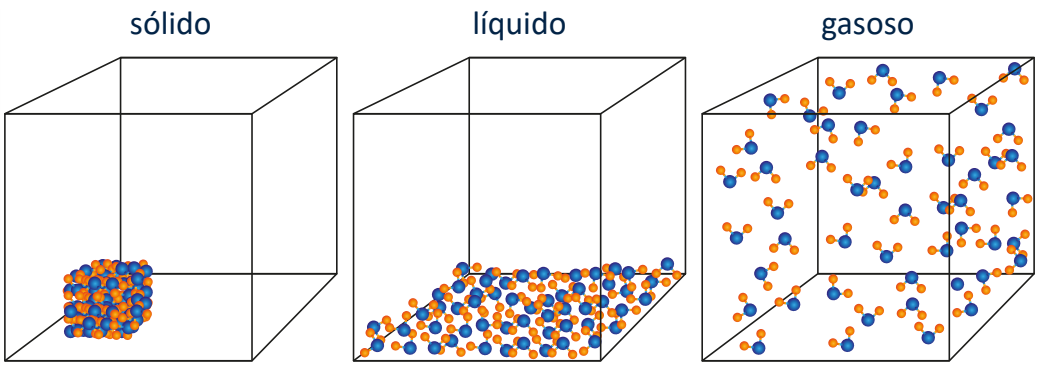


Foto: Freepik

GASES

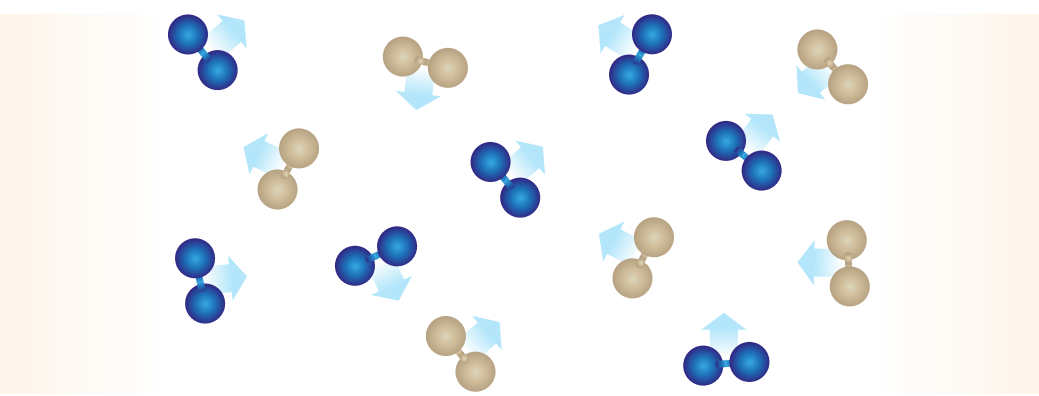
O gás é um dos estados da matéria. É importante relembrar que os estados mais comuns da matéria são o sólido, o líquido e o gasoso. Existem outros estados da matéria, mas que não são relevantes para o nosso contexto.



O estado gasoso das substâncias ou as misturas gasosas são mais relevantes para este manual, porque a presença dessas substâncias ou a variação da quantidade delas presente na atmosfera está diretamente ligada a situações de risco para o trabalhador.

Atmosfera é um conjunto de partículas microscópicas. Ela é composta por gases, vapor d'água e alguns compostos sólidos (partículas muito pequenas).

Destacando os gases, podemos descrevê-los como substâncias formadas por moléculas que se movimentam de forma contínua e desordenada, e que interagem muito pouco entre si.



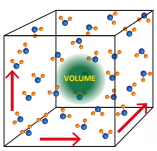
Os gases não possuem uma forma e um volume definidos, por isso eles tendem a se expandir, e dependendo da densidade, podem se espalhar por todo o recipiente que os contém. Eles são facilmente compressíveis e são menos densos (menos quantidade de matéria ocupando o mesmo espaço) do que os sólidos e os líquidos.

Outra particularidade dos gases é formarem misturas homogêneas com outros gases. Em outras palavras, se misturam bem com outros gases.

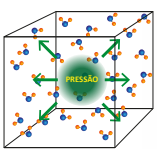
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROPRIEDADES DOS GASES

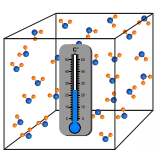
Cada gás tem suas propriedades, que incluem o volume, a pressão, a temperatura, a densidade e o peso. O ambiente no qual o gás se encontra também influencia na variação dessas propriedades. Por exemplo, o volume de um determinado gás (o espaço que ele ocupa) irá variar em função do compartimento onde ele é armazenado, já que as suas moléculas se espalham pelo espaço disponível. A alteração de temperatura pode afetar a densidade e a pressão. Lembre o que acontece, por exemplo, com um balão de ar quente: ao ser aquecido, o ar no seu interior se expande, dando forma ao balão e ao mesmo tempo o tornando mais leve que o ar frio, fazendo-o subir.



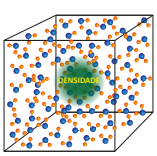
Volume



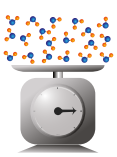
Pressão



Temperatura



Densidade



Peso

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

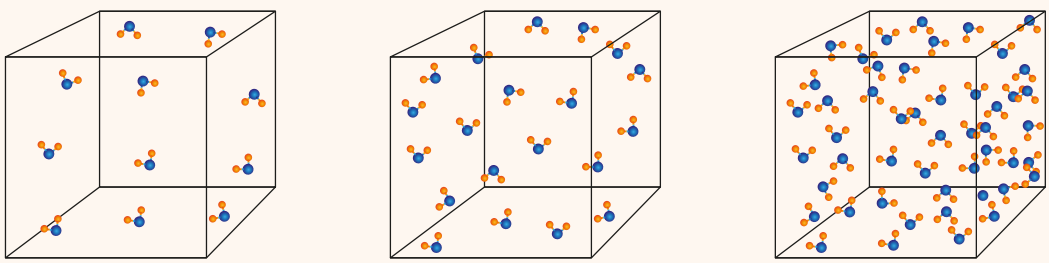
PROPRIEDADES DOS GASES

Densidade e peso

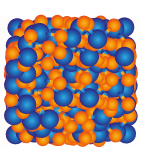
Entre as propriedades dos gases existem duas que convém destacar, pois se relacionam com questões práticas como a avaliação das atmosferas e a ventilação dos locais de trabalho. São elas a densidade e o peso.

A densidade é definida pela relação entre a quantidade de matéria e o volume que essa matéria ocupa (muita matéria em pouco espaço ou pouca matéria em muito espaço). Veja os exemplos abaixo:

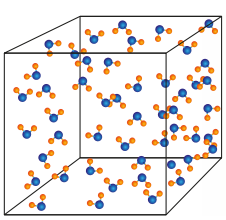
A densidade de um gás é ilustrada nos exemplos abaixo, em que um espaço de 1 m³ (um metro cúbico) pode conter um número maior ou menor de moléculas, ou seja, pode ser conter mais ou menos matéria.



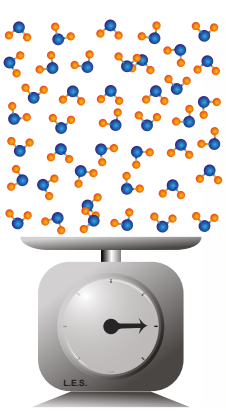
É importante relembrar



Massa = quantidade de matéria.



Densidade = quantidade de matéria em um determinado espaço.



Peso = ação da gravidade sobre a massa.

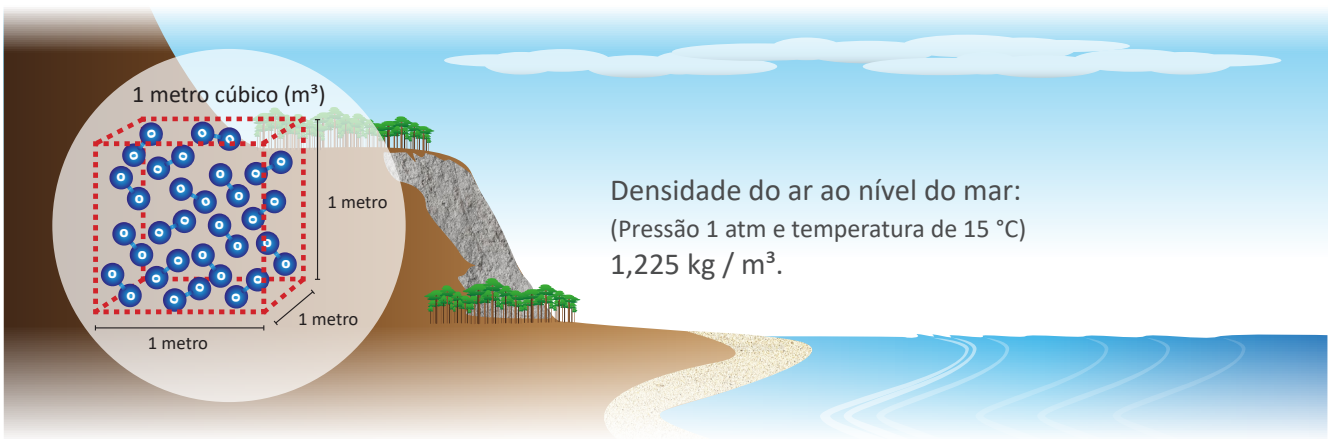
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROPRIEDADES DOS GASES

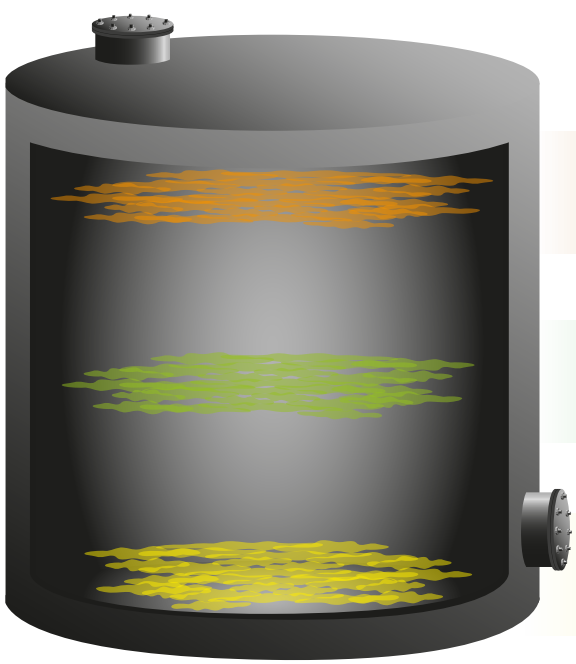
O ar tem peso

A pressão do ar ao nível do mar é de 1,01325 bar, ou 1 atm (atmosfera).

A ISA (Atmosfera Padrão Internacional) considera que o ar atmosférico com 1 atm de pressão, a uma temperatura de 15 °C, tem uma densidade (massa / metro cúbico) de 1,225 kg/m³. A uma temperatura de 0 °C a densidade é de 1,2928 kg/m³.



Densidade e peso do gases



E daí?!

A avaliação atmosférica através da detecção de gases e o planejamento de ventilação precisam considerar a possibilidade dos gases perigosos se acumularem em partes específicas dos espaços confinados.

Gases menos densos que o ar atmosférico irão se acumular no alto do ambiente.

Gases com uma densidade próxima à do ar podem se concentrar em qualquer parte do ambiente, seja no topo, no meio ou no fundo do espaço.

Gases com uma densidade maior que o ar atmosférico irão se acumular no fundo do ambiente.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROPRIEDADES DOS GASES

Densidade relativa dos gases

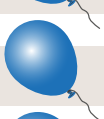
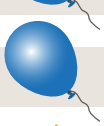
A densidade relativa é uma forma de comparar a densidade de dois gases diferentes numa mesma condição de temperatura e pressão. A densidade relativa que importa para este manual é a comparação do ar com os gases perigosos que precisam ser detectados e controlados.

Para determinar a densidade relativa dos gases são usadas as suas densidades absolutas. Por exemplo, a densidade absoluta do ar é 1,29 kg/m³ e a densidade absoluta do gás Metano é 0,72 kg/m³. Para encontrar a densidade relativa basta uma operação simples de divisão.

$$\text{Densidade relativa} : \frac{0{,}72 \text{ (gás Metano)}}{1{,}29 \text{ (Ar)}} \quad \text{Resultado} = 0{,}56 \text{ (densidade relativa do Metano)}$$

Atribuindo-se o valor de 1 para o ar e usando a densidade relativa dos outros gases torna-se fácil avaliar se um gás é mais leve ou mais pesado do que o ar. Veja a tabela abaixo:

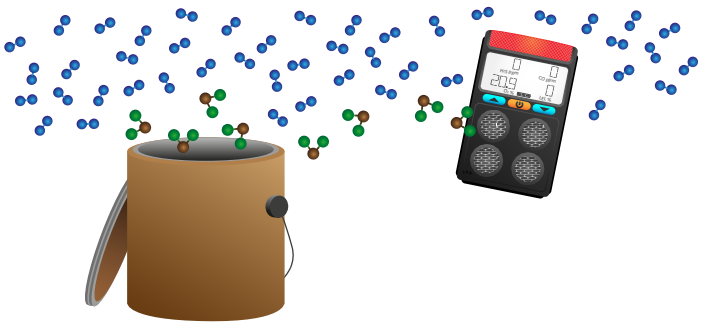
Gases com valores menores do que 1 são mais leves do que o ar, e com valores maiores do que 1 são mais pesados do que o ar.

Gás	Densidade relativa	
Hidrogênio	0,007	
Metano	0,5	
Amônia	0,6	
Monóxido de Carbono	0,9	
Ar	1	
Gás Sulfídrico	1,2	
Dióxido de Carbono	1,5	
Propano	1,5	
GLP (médio)	1,8	

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROPRIEDADES DOS GASES

Como os gases se movimentam, se misturam e se dispersam.



Difusão

É a difusão que faz com que os gases perigosos se misturem pela atmosfera de um ambiente, ou que um gás exótico que está misturado ao ar de um local chegue até os sensores de um detector de gás, ou que um ar contaminado aos poucos vá se modificando pela mistura gradual com um ar bom.

A difusão de um gás é um movimento espontâneo de um gás através do outro, ou em outras palavras, é como ele se espalha em outro meio gasoso.

É por causa da difusão que aos poucos um gás estranho vai se misturando com os demais gases de um ambiente e formando uma composição homogênia. Percebemos isso quando observamos os gases que saem, por exemplo, da chaminé de uma fábrica, e que com o tempo e a distância vão se espalhando pelo ar atmosférico até não conseguirmos mais distingui-los. Nessa situação houve o que se denomina como difusão dos gases pelo ar.

Viscosidade dos gases

Uma substância viscosa é algo que se apresenta como pegajosa, gelatinosa e que escorre, escorrega com dificuldade. A viscosidade de um líquido é algo com que convivemos no dia-a-dia como, por exemplo, o mel de abelha, ou para quem usa equipamentos mecânicos, o óleo de lubrificação (com diferentes viscosidades) ou a graxa.

A viscosidade dos gases é uma medida para o fluxo (escoamento), e é influenciada pela temperatura, pela pressão e pelo tamanho das moléculas. Tem a ver com o movimento das moléculas que formam o gás, com a capacidade que uma camada de moléculas tem de transferir movimento para a camada seguinte. Num gás viscoso a camada mais rápida tende a diminuir e a velocidade da camada mais lenta a aumentar, fazendo com que a velocidade relativa tende a diminuir.

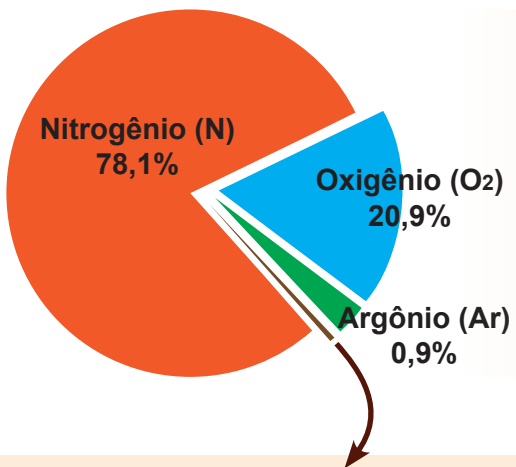
Como já mencionado, a viscosidade de um gás é influenciada pela temperatura desse gás, já que com o aumento da temperatura as moléculas que o constituem se agitam mais, diminuindo o tempo de interação entre uma molécula e outra, tornando a transmissão de energia cada vez mais difícil.

Nem sempre a mistura ou a dissipação dos gases é espontânea, exigindo o uso de bombas de ar ou de ventiladores para mover uma parte específica de uma atmosfera.

OS GASES QUE FORMAM O AR RESPIRÁVEL

A quase totalidade dos seres vivos no planeta Terra é dependente do gás oxigênio. E o oxigênio é um entre vários gases que formam o que denominamos "ar respirável".

O que chamamos de ar é um conjunto de gases composto principalmente de Nitrogênio (N), Oxigênio (O_2) e Argônio (Ar) e mais de uma dúzia de outros gases em concentrações muito pequenas.



Outros gases 0,1%	
Dióxido de carbono (CO_2)	0,039%
Neônio (Ne)	0,0018%
Hélio (He)	0,0005%
Metano (CH_4)	0,00018%
Criptônio (Kr)	0,0001%
Hidrogênio (H_2)	0,00005%
Óxido nitroso (N_2O)	0,00003%
Monóxido de carbono (CO)	0,00001%

Os gases Xenônio (Xe), Ozônio (O_3), Dióxido de nitrogênio (NO_2), Iodo (I) e Amônio (NH_3) encontram-se em volumes ainda menores.

Um ar saudável também deve conter vapor d'água, que na superficie do planeta Terra varia entre 1% a 4%.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

VAPORES

O vapor é o estado gasoso de uma substância que nas condições normais de pressão e temperatura está no estado líquido. Os vapores se diferenciam dos gases por voltarem ao estado líquido quando submetidos a uma diminuição de temperatura ou então a um aumento de pressão, bastando apenas uma dessas condições.

Podemos usar um exemplo fácil, que é o vapor d'água. O vapor d'água não é visível a olho nu, pois está em forma de gás, mas basta uma diminuição da sua temperatura para que comece a se condensar e formar pequenas gotículas que juntas criam aquela névoa branca que pode ser facilmente observada.

Imagem de Valeria Aksakova no Freepik

O vapor d'água (invisível), ao sair da panela encontra um ambiente com uma temperatura menor, se condensa e forma essa névoa branca que podemos enxergar.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Quando nos referimos ao aspecto agressivo de uma substância química normalmente nos referimos ao valor de pH que ela apresenta. Este tal de pH, cuja sigla significa potencial Hidrogeniônico, se refere à presença de íons (átomos que perderam ou ganharam elétrons) de Hidrogênio presentes nas substâncias. Em termos práticos, o valor de pH classifica a substância avaliada entre ácida, neutra ou alcalina. A escala de valores do pH vai de 0 a 14, sendo que todo valor abaixo de 7 é ácido e todo valor acima de 7 é alcalino, e o valor 7 é neutro.

Exemplos da aplicação desse conhecimento:

Filtros químicos para proteção respiratória podem ser especificados para substâncias ácidas ou alcalinas.

No uso e na limpeza dos equipamentos recomenda-se evitar o contato com produtos agressivos, sejam eles ácidos ou alcalinos. A lavagem deve ser feita com sabão neutro (valor 7 na escala de pH).

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Os gases inflamáveis podem gerar um incêndio e uma explosão.

Compreender o que é a combustão é essencial para adotar as medidas de proteção e entender as tecnologias usadas para alguns desses controles.

Imagem de Wirestock no Freepik

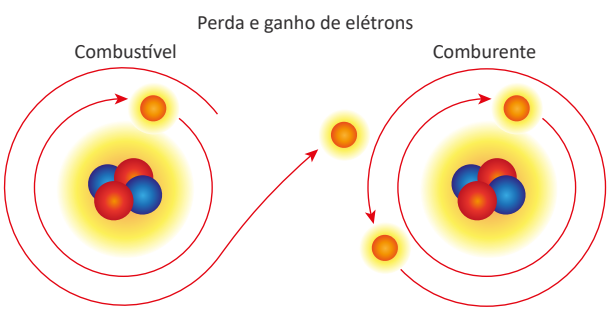
COMBUSTÃO

O fogo é um elemento comum nas nossas vidas, e de extrema importância. O fogo ainda é a fonte de calor mais comum para o cozimento de alimentos, mas torna-se um problema sério quando foge do controle, e o fogo descontrolado é chamado de incêndio.

O fogo é o resultado de uma reação química chamada combustão. Nessa reação química materiais mudam de estado, normalmente passando do estado sólido para o líquido, e do estado líquido para o gasoso. São os gases que, de fato, pegam fogo. É a mistura de gases em altas temperaturas que emite a radiação que percebemos como calor e que normalmente podemos ver, embora existam gases que produzem chamas incolores.

Para entendermos o processo que define a combustão, precisamos considerar que em certas interações químicas pode ocorrer a perda e o ganho de elétrons. A química denomina essa reação como oxidação. O termo oxidação surgiu da crença de que o oxigênio deveria estar presente na reação para que ela acontecesse. Entretanto, com a evolução do conhecimento científico descobriu-se que a oxidação pode ocorrer sem o oxigênio, mas mesmo assim o termo foi mantido.

Representação simplificada da oxidação em uma combustão.



Para o fogo surgir e se manter precisa haver a interação de um grupo de elementos, sendo que se qualquer um deles for retirado da reação química o fogo se extingue ou não é gerado. Esses elementos básicos são o combustível, o comburente e o calor. A interação desses três elementos define a reação química chamada de combustão.

O combustível é o que vai queimar, e pode se apresentar no estado sólido, líquido ou gasoso.

O comburente será o "parceiro" do combustível na reação química chamada de oxidação. Se um perderá elétrons, o outro os receberá. O gás Oxigênio é o comburente mais comum, mas existem misturas de outros gases que podem gerar a combustão.

Não basta haver o combustível e o comburente presentes em um ambiente. O calor deverá ser introduzido na mistura para que o fogo se inicie, e a manutenção do fogo depende da manutenção do calor.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

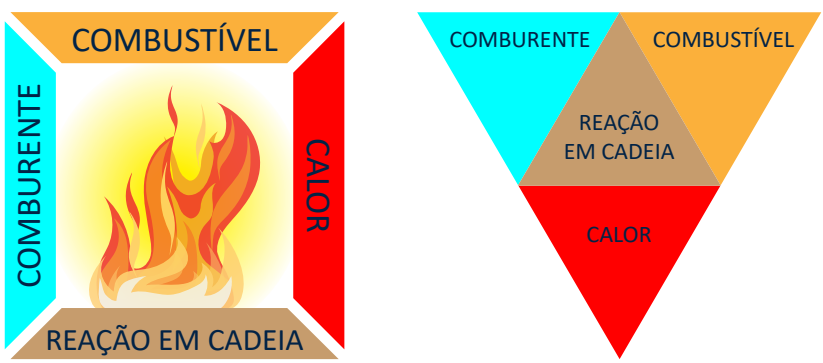
COMBUSTÃO

Existem fontes que consideram um quarto elemento na combustão, que é a reação em cadeia, e quando esse elemento é envolvido na interação forma-se o quadrilátero do fogo ou tetraedro do fogo. Mas esse quarto elemento é o resultado da interação dos três primeiros. Por isso, não é um erro utilizar do triângulo do fogo para explicar de forma simplificada a combustão.

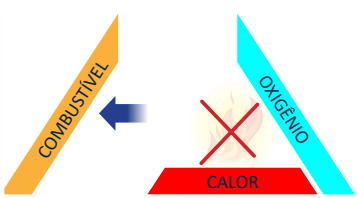
Para se compreender a reação em cadeia devemos considerar que a queima decompõe o combustível em partículas menores, que combinadas com o oxigênio (comburente) e com o calor queimam e introduzem mais calor na combustão, quebrando mais moléculas, formando um ciclo que continuará até que um dos elementos básicos seja retirado ou se esgote.

Quando a reação em cadeia é considerada na combustão.

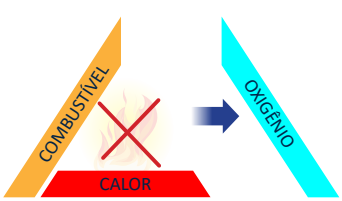
Quadrilátero do fogo ou Tetraedro do fogo



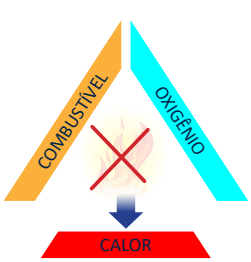
Veremos ao longo do conteúdo deste manual que haverá aplicações práticas deste conhecimento, mas podemos antecipar situações em que a compreensão da combustão permite o controle sobre dos riscos de incêndio e explosão. Para tornar a compreensão mais fácil, vamos enfatizar que a combustão somente ocorre quando os três elementos básicos (combustível, comburente e calor) existem para dar início e manter o fogo.



Sem o combustível não há fogo.



Sem o comburente (oxigênio) não há fogo.



Sem calor não há fogo.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

INFLAMABILIDADE

A inflamabilidade deriva da palavra inflamar, que significa pôr fogo, queimar. Então, a inflamabilidade de um gás é a sua capacidade de servir como combustível numa combustão, em outras palavras, a capacidade de gerar fogo quando misturado a um comburente e com uma fonte de calor.

Como foi abordado nas páginas anteriores, a origem e a manutenção do fogo dependem de três elementos básicos. Um gás inflamável seria um deles, mas sem o comburente e o calor não há o risco de incêndio ou explosão.

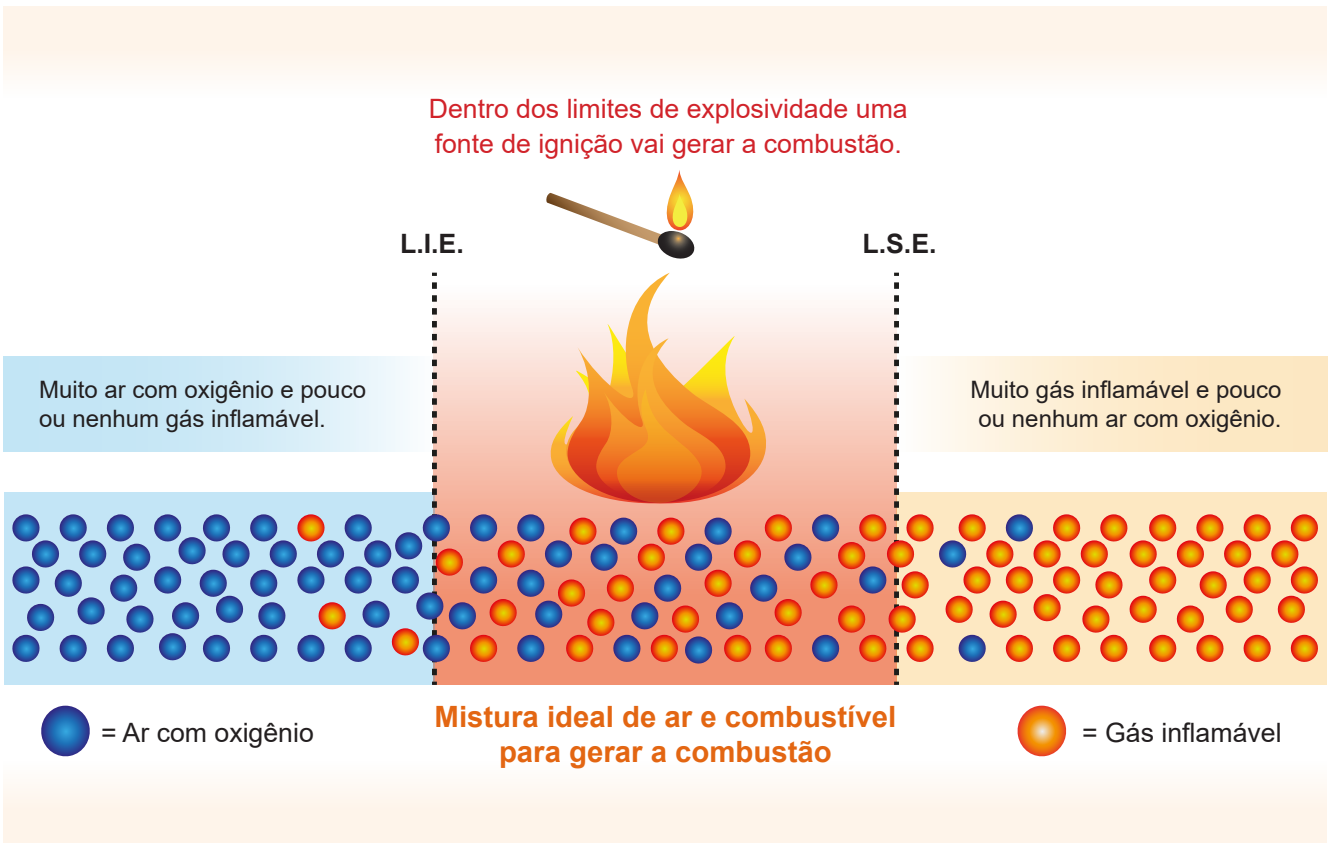
Existem processos industriais que não tem como evitar a presença do combustível e do comburente (oxigênio) em um mesmo ambiente, por isso a única coisa que se pode controlar para evitar um acidente é a fonte de ignição (calor).

Um ambiente pode estar totalmente preenchido com um gás inflamável, mas se não houver oxigênio presente, nem mesmo com uma fonte de calor haverá fogo.

A combustão só ocorrerá se num ambiente houverem os três elementos e na proporção adequada. Se não houver combustível suficiente ou oxigênio suficiente, a combustão não acontece.

Por influência de fontes internacionais, usa-se comumente o termo explosividade para designar a capacidade de uma substância misturada à atmosfera de um espaço confinado gerar combustão (fogo, e uma possível explosão). Os limites que determinam o perigo entre diferentes substâncias são denominados limite inferior de explosividade (L.I.E) e limite superior de explosividade (L.S.E.).

O limite inferior de explosividade (L.I.E.) determina a quantidade mínima de uma substância presente numa atmosfera que a tornará potencialmente inflamável/explosiva. O limite superior de explosividade (L.S.E) determina a quantidade máxima dessa mesma substância que mantém a atmosfera potencialmente inflamável/explosiva.



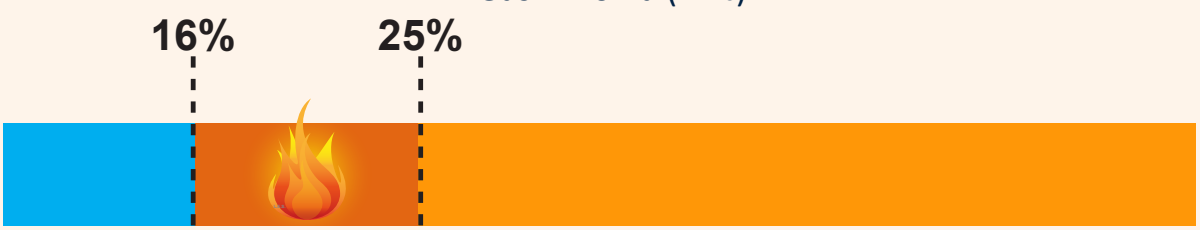
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

INFLAMABILIDADE

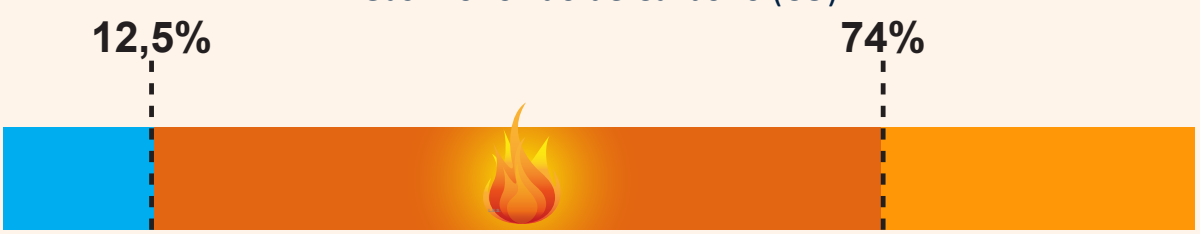
Exemplos dos limites de inflamabilidade/explosividade de diferentes gases

Gás Metano (CH_4)

Gás Amônia (NH_3)

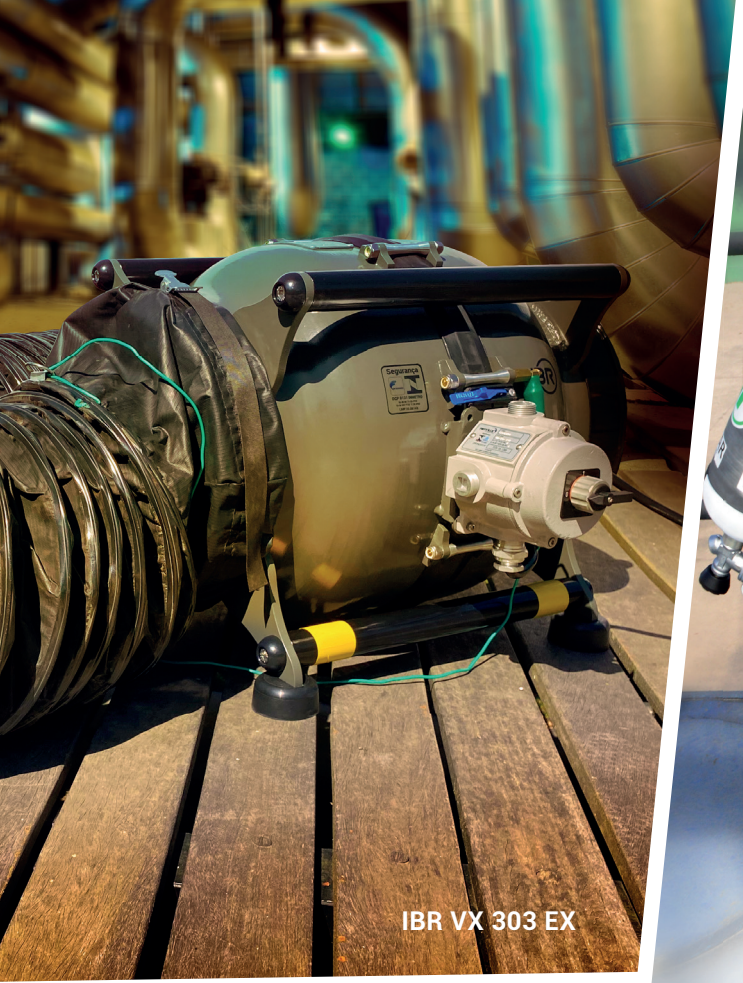


Gás Monóxido de Carbono (CO)



Gás Acetileno (C_2H_2)

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.



IBR VX 303 EX

IBR FÊNIX

IBR

Segurança, Resistência, Qualidade e Durabilidade.

Soluções para trabalho em espaços confinados.
Acesse nosso site e conheça nosso portifólio completo de Equipamentos de Segurança.

Saiba mais em:
ibrbrasil.ind.br
ou acesse pelo
QR Code.

Para mais informações entre em contato com um de nossos vendedores por telefone ou via WhatsApp.

(11) 3834-4737 | 3834-5960 **(11) 91037-9848**

IBR Brasil. Rua Pasadena 169 - Cond. Industrial San José - Cotia - SP - 06175-864
Copyright © IBR. Todos nossos produtos estão em conformidade com a ***norma NR 33***.

Capítulo 2

FUNDAMENTOS

NOÇÕES DE FÍSICA

Relembrar alguns fundamentos da física ajudará na compreensão dos procedimentos e das tecnologias usados na proteção de trabalhadores.

GRANDEZAS

Tudo o que pode ser medido.

Para podermos abordar os fenômenos naturais e as ocorrências artificiais que interferem na composição da atmosfera de um espaço confinado, assim como o impacto às pessoas e aos equipamentos, será necessário considerarmos quantidades. O intuito dessa abordagem é compreender as dimensões e os limites do que é adequado ou inadequado, seguro ou perigoso. Por isso, precisamos aprender ou relembrar o que são grandezas e quais delas são relevantes para o nosso tema.

Uma grandeza é algo que pode ser medido. Exemplos comuns no nosso cotidiano incluem o comprimento e o tempo, entre outros. Veja a lista das grandezas que precisam ser consideradas no controle dos riscos atmosféricos:

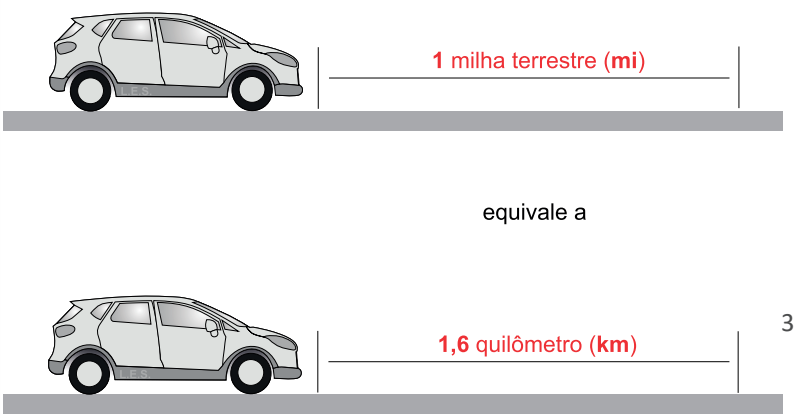
UNIDADES DE MEDIDA

Para medir as grandezas.

Uma unidade de medida é uma forma de atribuir quantidade a alguma grandeza, e a grandeza por sua vez é tudo o que pode ser medido. Exemplos comuns no nosso cotidiano incluem o metro para medir o comprimento, o segundo para medir o tempo e o quilograma para medir a massa. Mas existem muitas outras grandezas físicas, e para cada uma podem existir uma ou várias unidades de medida para quantificá-las.

Existem no mundo diferentes padrões de medidas, como a chamada unidade imperial criada pelo Reino Unido e as suas derivações que criaram a unidade inglesa, utilizada nos Estados Unidos. Por isso a quantidade de um líquido pode ser expressa em litros ou em galões. A pressão do pneu de um carro pode ser expressa em PSI ou em BAR. Uma distância percorrida pode ser expressa em quilômetros ou em milhas.

Exemplos



Informar para um turista americano que a distância entre São Paulo e o Rio de Janeiro é de aproximadamente 500 km não o ajudará a entender essa distância, mas se esse valor for convertido para 310 milhas terrestres, então ele compreenderá.

Para encher o pneu de um carro e medir a pressão adequada, se usa a unidade Psi normalmente, mas pode-se utilizar a unidade Bar. Entretando, a unidade internacional é o Pascal (Pa).

Uma pressão de 30 Psi equivale a 2,06 Bar ou 206.000 Pascal.

UNIDADES DE MEDIDA

Em meio à diversidade, um padrão.

É óbvio que todas essas variações na forma de medir grandezas trouxeram e trazem problemas para o comércio internacional, o intercâmbio científico e outras relações internacionais. Por isso, na década de 60 o mundo resolveu definir um padrão. No ano de 1960, durante a Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), na França, foi instituído o Sistema Internacional de Unidades (SI), que é um conjunto de unidades de medidas para as grandezas físicas fundamentais e suas derivações.

Exemplos da aplicação desse padrão internacional são o Pascal (Pa) como unidade escolhida para medir a pressão, o metro (m) para medir comprimentos e o metro cúbico (m^3) para medir volumes, entre outros.

Sistema Internacional de Unidades

Abaixo estão relacionadas as grandezas mais relevantes para o conteúdo deste manual e as suas respectivas unidades de medida padronizadas pelo sistema internacional.

A descrição de uma unidade de medida inclui a grandeza que ela medirá, a unidade indicada para medir essa grandeza e o símbolo que identifica essa unidade. Por exemplo, para medir a grandeza Tempo pelo sistema internacional, a unidade de medida é o segundo, cujo símbolo é o “s” (letra minúscula). Outro exemplo, também com base no sistema internacional, para medir a grandeza Força a unidade de medida é o Newton, cujo símbolo é o “N” (letra maiúscula).

Quando o símbolo se relaciona com um nome próprio deve ser escrito com a letra maiúscula, como Newton (N) ou Celsius (C).

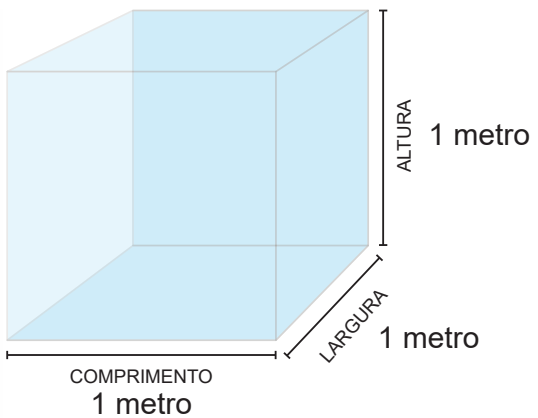
GRANDEZA	UNIDADE DE MEDIDA	SÍMBOLO
Volume	metro cúbico	m^3
Vazão volumétrica	metro cúbico por segundo	m^3/s
Pressão	Pascal	Pa
Força	Newton	N
Tempo	segundo	s
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Temperatura Celsius	grau Celsius	ºC

VOLUME

Abordaremos o volume dos gases ao longo deste manual, em tópicos diferentes, como por exemplo no consumo de ar por uma pessoa, no volume de gases em um espaço, na ventilação de um ambiente, entre outras situações, e por isso será imprescindível entender ou relembrar o que é volume.

O volume é a quantidade de espaço que um corpo ocupa, lembrando que qualquer objeto sólido apresentará três dimensões, que são o comprimento, a largura e a altura. Por isso são chamados de tridimensionais. Até mesmo uma folha de papel, por mais fina que seja, apresentará as três dimensões.

A unidade adotada pelo Sistema Internacional para medir o volume é o metro cúbico, cujo símbolo é m^3. O metro cúbico é o espaço tridimensional ilustrado abaixo.



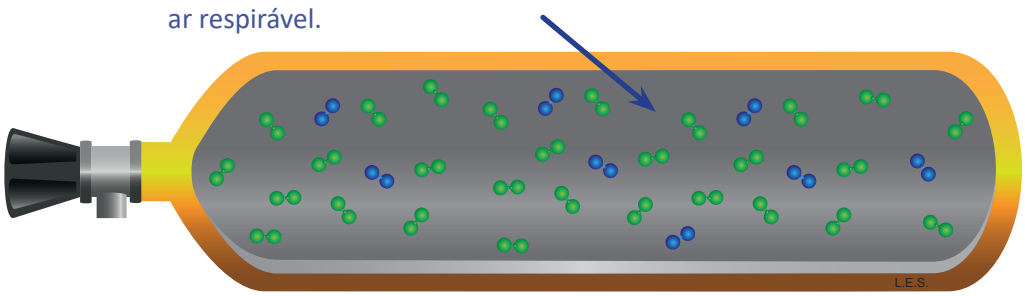
METRO CÚBICO (m^3)

Um metro cúbico (m^3) é um espaço formado por 1 metro de comprimento, 1 metro de largura e 1 metro de altura.

Volume dos gases

Um exemplo didático sobre o volume dos gases é do ar respirável. Para determinarmos esse volume precisamos relembrar que a matéria em estado gasoso não tem forma ou volume próprios. É composta principalmente por moléculas não unidas, expandidas e com pouca força de atração entre si, assim os gases podem se expandir até ocupar todo o volume do recipiente que os contém. Então, a maneira para calcular a quantidade de gases, por exemplo, dentro de um cilindro é conhecer o seu volume interno.

Sob efeito apenas da pressão atmosférica, um cilindro com um volume interno de **0,006 m³** conterá **0,006 m³** de ar respirável.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

VOLUME

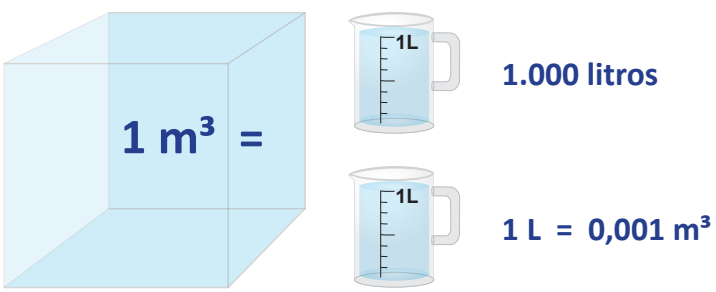
Volume dos gases

Na grande maioria das vezes vamos lidar com volumes relativamente pequenos de ar, e nesse caso a unidade de medida metros cúbicos não é a melhor opção.

No exemplo anterior foi apresentado um cilindro de ar respirável com 0,006 m³. Para muitas das medidas que teremos que usar, poderemos considerar uma outra unidade que é o litro, cujo símbolo é a letra L (maiúscula ou minúscula).

Essa unidade é considerada pelo Sistema Internacional, embora não faça parte da lista oficial. O Litro corresponde a 0,001 m³ ou 1 m³ corresponde a 1.000 litros.

Litro: uma unidade alternativa



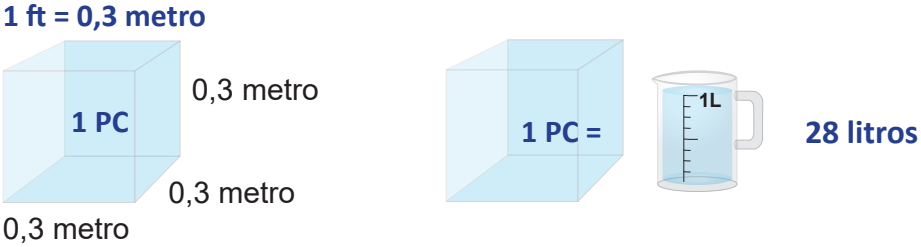
Uma outra alternativa

Para muitos sistemas e máquinas, em função da origem delas ou da influência tecnológica americana ou europeia, por tradição são utilizadas unidades de medida diferentes. Um exemplo disso é o volume de ar usado tradicionalmente para compressores. No Brasil os fabricantes de compressores de ar costumam utilizar o PC (pé cúbico).

A unidade pé (ft) é usada para comprimentos. Um pé (ft) equivale a 0,3048 metro.

Um pé cúbico (PC) equivale a uma área de 0,3 metro de altura, 0,3 metro de largura e 0,3 metro de profundidade. O volume de 1 PC equivale a 28 litros.

1 ft = 0,3 metro



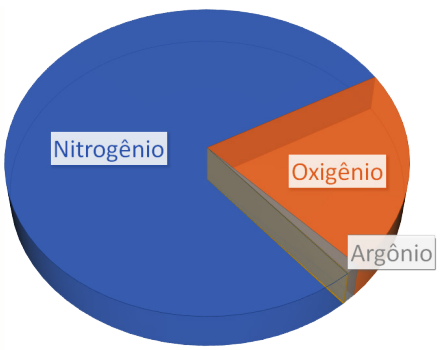
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

VOLUME

A porcentagem de volume (%)

A porcentagem de volume é uma forma de determinar uma fração (parte) de alguma quantidade. A base, ou o que a matemática chama de denominador, é 100 %. Cem por cento representa o todo, e qualquer valor abaixo disso representa uma fração ou parte desse todo.

O chamado ar respirável é composto por vários gases, cada qual fazendo uma parte do todo. O nitrogênio, o oxigênio e o argônio são os de maior volume.



78% de Nitrogênio;

20,9% de Oxigênio;

1% de Argônio;

0,1% de Gás Carbônico e outros gases.

Para frações muito pequenas: ppm

Em química é muito recorrente se confrontar com frações muito pequenas. Usando como exemplo os gases que compõem o ar respirável, o grupo de gases que forma o 0,1% apresentam concentrações tão pequenas que é necessário usar várias casas decimais do lado direito da vírgula. Um exemplo é o gás Monóxido de carbono (CO) que apresenta um volume de apenas 0,00001%.

Para concentrações tão pequenas a unidade de medida utilizada é outra. Usa-se “partes por milhão (ppm)”. Essa unidade estabelece quantas partes de alguma coisa existem entre um milhão de outras partes. Veja a ilustração abaixo:

Exemplo: entre 630 partes apenas 3 são laranjas. O que equivale a 0,5%.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

VAZÃO

Vazão é o volume de um determinado fluido, como o ar, passando por um duto num determinado intervalo de tempo, ou seja, uma certa quantidade de ar passando, por exemplo, por uma mangueira de ar a cada segundo, minuto ou hora.

A unidade de medida para a vazão volumétrica no Sistema Internacional é o metro cúbico por segundo (m^3/s), porém, em virtude dos valores envolvidos nos sistemas de proteção respiratória, a unidade mais utilizada é o litro por minuto (l/min).

Exemplo:

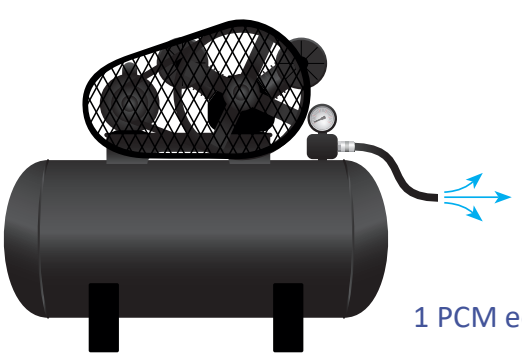
0,001 m^3/s (metro cúbico por segundo)

ou

1 l/s (litro por segundo).

Observação:
Estes valores não configuram a vazão real de um cilindro de ar comprimido.

Compressores



PCM (pés cúbicos por minuto)

1 PCM equivale a 28 litros ou 0,028 m^3.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PRESSÃO

A pressão é a força aplicada sobre uma determinada área. Um exemplo disso é quando pressionamos um dedo sobre uma parte do corpo. Nessa situação haverá uma força sendo exercida na área de contato entre a ponta do dedo e a superfície do corpo. Quando é exercida uma força de, por exemplo, 1 quilograma-força (1 kgf) sobre uma área de 1 centímetro quadrado (1 cm²) essa força é chamada de pressão.

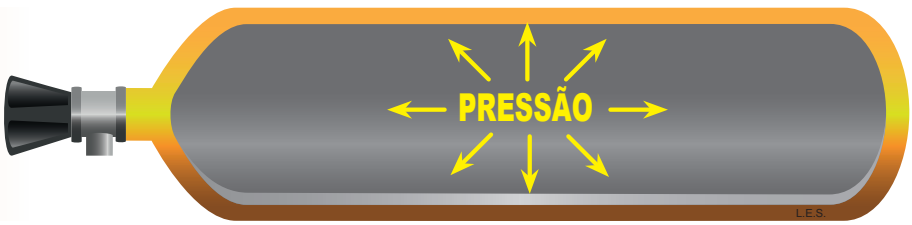
Pressão: força exercida sobre uma área

A pressão pode ser exercida por líquidos, gases ou sólidos, e em muitos casos é aplicada em todas as direções.

Pressão exercida pelo ar comprimido dentro do pneu.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PRESSÃO



A grandeza pressão é muito utilizada no ambiente industrial, e é comum o uso de diferentes unidades de medida. A unidade de medida utilizada pelo Sistema Internacional é o Pascal, que considera o Newton por metro quadrado (N/m²) e cujo símbolo é Pa. O valor de 1 Pascal (Pa) equivale aproximadamente a 1 quilograma-força por centímetro quadrado (kgf/cm²). Mas existem outras unidades em uso.

Por causa da forte presença e influência da indústria americana e europeia no Brasil, ainda são muito utilizadas unidades como o Bar e o Psi. O Psi, como exemplo, tem origem no antigo sistema imperial inglês, mas vem sendo substituído gradualmente pela unidade Pascal, que pertence ao Sistema Internacional. A unidade milímetro de mercúrio (mm Hg) é utilizada para medir a pressão atmosférica e a pressão parcial dos gases que compõem o ar. Estes são apenas alguns exemplos das diferentes unidades de medida para a pressão.

A unidade Pascal e a relação com outras unidades

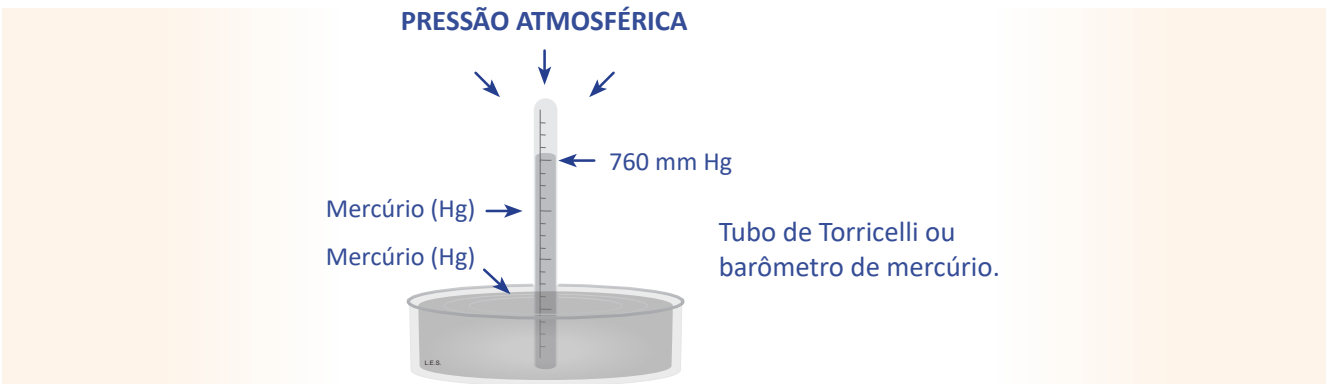
	CONVERSÃO		
		Símbolo	UNIDADE DE MEDIDA
1 Pa =	0,00001	bar	Bar
	0,00014	psi	Psi (libra-força por polegada quadrada)
	0,0000098	atm	Atmosfera
	0,0075	mm Hg	Milímetro de mercúrio
	0,1	kgf/cm²	Quilograma-força por centímetro quadrado
	0,0001	mca	Metro de coluna d'água

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PRESSÃO ATMOSFÉRICA

O primeiro gás a ter a sua pressão medida foi o ar atmosférico. A experiência aconteceu no ano de 1643, e foi realizada pelo físico e matemático italiano Evangelista Torricelli. A técnica que ele empregou ficou conhecida como tubo de Torricelli, ou barômetro de mercúrio.

Torricelli encheu um tubo de vidro com mercúrio e o mergulhou num recipiente também contendo mercúrio. Ao fazer isso ele observou que o mercúrio desceu e se estabilizou a uma altura de 76 cm (760 mm). Diante disso ele concluiu que o nível do mercúrio no tubo de vidro indicava a pressão atmosférica. Sendo assim, podemos afirmar que a pressão exercida pelo ar atmosférico ao nível do mar é de 760 milímetros de mercúrio (760 mm Hg), lembrando que Hg é o símbolo químico do mercúrio.



Pressão parcial (pp)

Foi abordado no capítulo anterior que o ar atmosférico, ou ar respirável, é formado por uma combinação de gases, sendo que os mais relevantes são o nitrogênio (N), o oxigênio (O_2) e com uma concentração muito pequena existem o argônio (Ar) e o dióxido de carbono (CO_2), que juntos formam quase 1% da composição, além de vários outros gases, todos com concentrações muitíssimo pequenas.

A pressão exercida pelo ar atmosférico é formada pela soma da pressão de cada um desses gases. A contribuição de cada um deles é chamada de pressão parcial (pp).

Para uma melhor compreensão, vamos considerar que a pressão atmosférica do ar ao nível do mar é de 760 milímetros de mercúrio (760 mm Hg), e que na sua composição existe aproximadamente 21% de oxigênio (O_2). Num cálculo simples podemos concluir que a pressão parcial (pp) do oxigênio (O_2) é de aproximadamente 160 mm Hg (760 mm Hg x 0,21). Podemos conferir a exatidão desse cálculo computando os outros principais gases, como segue:

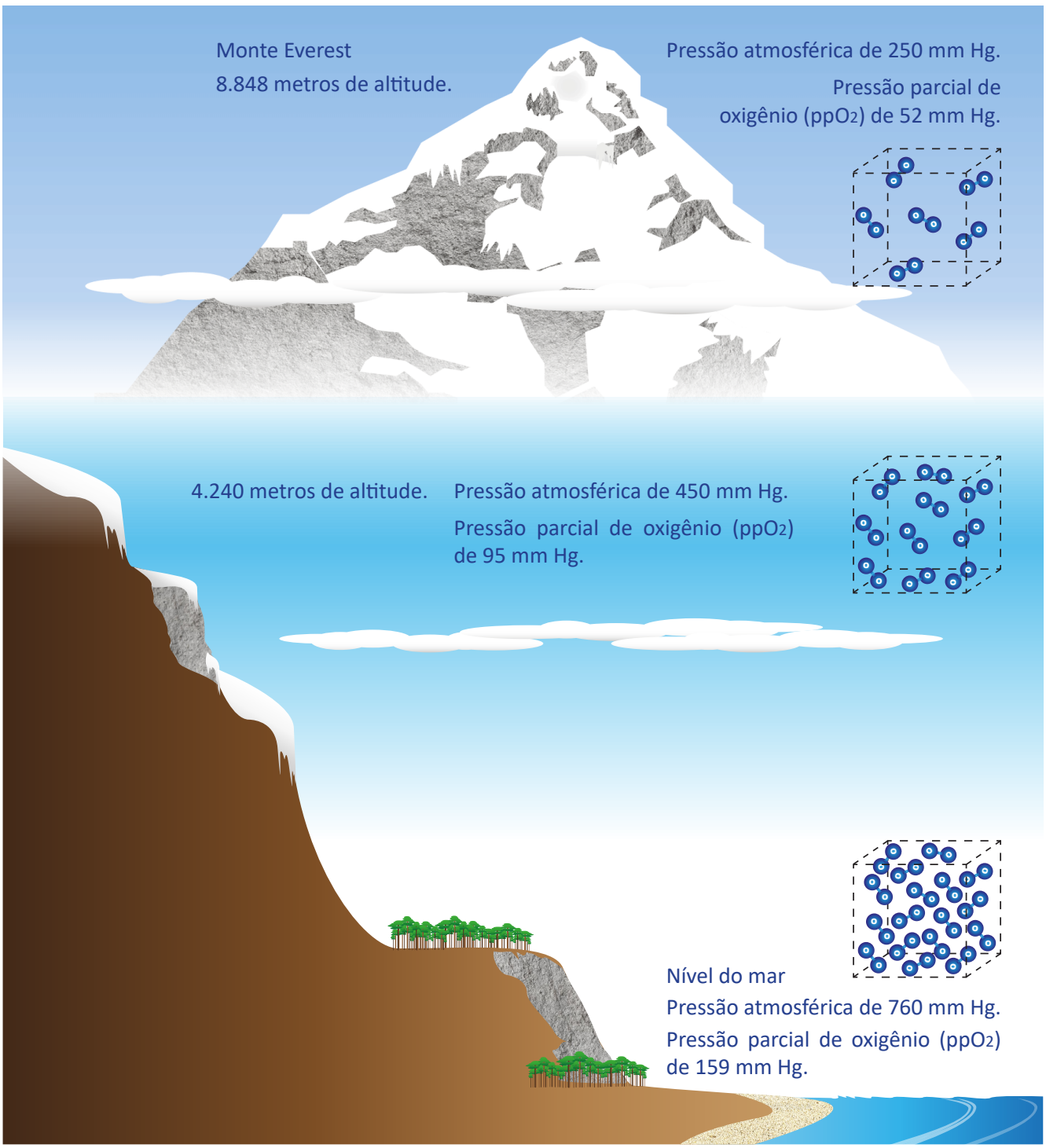
Oxigênio (O_2): 21%	=	ppO_2	160 mm Hg
Nitrogênio (N): 78%	=	ppN	593 mm Hg
Argônio (Ar) e Dióxido de Carbono (CO_2): 1%	=	$ppAr + ppCO_2$	7 mm Hg
Pressão total: 100%			760 mm Hg

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PRESSÃO PARCIAL (pp)

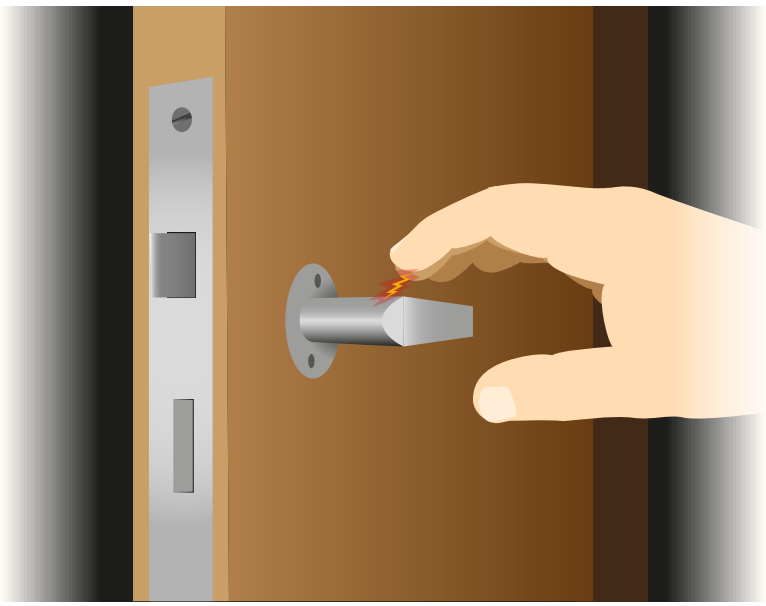
Qual a importância?

Respirar oxigênio e na quantidade adequada justifica a necessidade de se considerar a pressão parcial. Em trabalhos realizados em altitudes acima do nível do mar ou em ambientes fechados onde a pressão atmosférica é artificialmente alterada, mais importante do que o volume de oxigênio é a pressão parcial desse gás presente no ambiente. Sem uma pressão parcial mínima o organismo humano pode não absorver as moléculas de oxigênio, ou pode absorvê-las em quantidade insuficiente. No capítulo sobre proteção respiratória haverá a aplicação desse fator.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

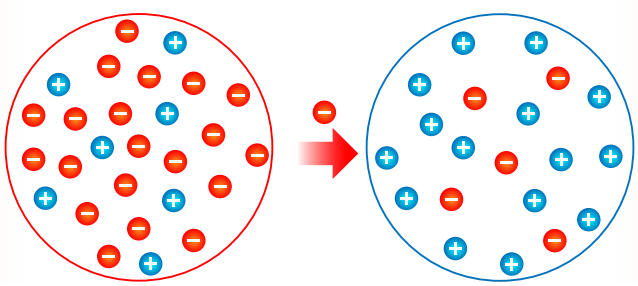
ENERGIA ESTÁTICA E ELETRIZAÇÃO POR ATRITO



A maioria das pessoas, em algum momento da vida, já experimentou sentir um pequeno choque elétrico ao tocar a maçaneta de uma porta. Em um ambiente escuro é possível até mesmo ver uma pequena faísca elétrica entre a pele e o metal. A causa desse choque é a tal energia estática.

Para melhor compreendermos o que é essa energia estática precisamos relembrar a carga elétrica dos átomos. Os átomos são constituídos por elementos com cargas elétricas diferentes. No núcleo do átomo existem os prótons com carga elétrica positiva (+) e os nêutrons com carga elétrica neutra. Circundando o núcleo existem os elétrons que apresentam carga elétrica negativa (-).

Reequilíbrio da carga elétrica através da transferência de elétrons de um corpo para o outro.



Existe um equilíbrio entre essas cargas que pode ser alterado com o ganho ou a perda de elétrons de um material para o outro. É o que acontece quando, num dia com baixa umidade no ar, com os pés descalços, ao arrastá-los sobre um tapete ou carpete o corpo humano ganha elétrons carregando-se eletricamente. Ao nos aproximarmos de um material condutor, como é o caso do metal da maçaneta, a natureza procurará o equilíbrio, descarregando a energia estática de um meio para o outro. O resultado dessa descarga é a sensação do choque elétrico e a geração da faísca elétrica.

No contexto deste manual a energia estática pode funcionar como ignição para uma atmosfera inflamável e provocar um incêndio ou explosão.

VERTICAL®
SEGURANÇA DO TRABALHO

EMPRESA ESPECIALIZADA EM TREINAMENTOS E SOLUÇÕES EM SEGURANÇA DO TRABALHO A MAIS DE 12 ANOS .

REALIZAR

O INVENTÁRIO DE ESPAÇO CONFINADO É ESSENCIAL PARA A SEGURANÇA DOS SEUS COLABORADORES.

- ✓ INVENTÁRIO DE ESPAÇOS CONFINADOS
- ✓ TREINAMENTOS
- ✓ PLANO DE RESGATE

EI, VOCÊ! PROFISSIONAL DA ÁREA DE SEGURANÇA DO TRABALHO:

QUER SALVAR VIDAS E PROSPERAR COM ESPAÇO CONFINADO?

MENTORIA
GUARDIÕES DOS ESPAÇOS

APRENDA A ELABORAR O INVENTÁRIO E PLANO DE RESGATE, E FATURE

ATÉ R$ 45.000,00

COM ESTES DOCUMENTOS.

VERTICAL®
SEGURANÇA DO TRABALHO

(19) 99839-2759

WWW.VTREINAMENTOS.COM.BR

COMERCIAL@VTREINAMENTOS.COM.BR

Capítulo 3

RISCOS ATMOSFÉRICOS

PERIGOS E RISCOS

Os termos perigo e risco não são sinônimos. Eles têm significados diferentes.

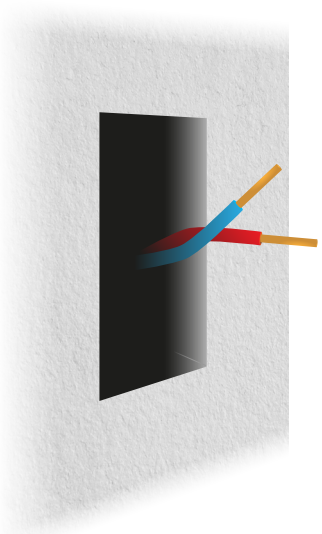
Considerando as definições oferecidas pela ISO 45001, perigo é a fonte com potencial de causar lesões e problemas de saúde. Podemos usar como um exemplo didático a existência de uma tomada elétrica com fios expostos e energizados. Essa condição oferece perigo.

O risco é o produto da probabilidade de uma ocorrência e a gravidade do dano que ela pode causar. Mantendo o exemplo da tomada elétrica com os fios energizados expostos, o risco é de uma criança tocar nesses fios e levar um choque elétrico. Estando essa fonte de fácil acesso à criança, a probabilidade de ela se acidentar é alta e a consequência desse acidente pode ser fatal. Somando a probabilidade e a consequência trágica possível, o risco deve ser classificado como grave e não tolerável.

PERIGO:

fonte com potencial de causar lesões e problemas de saúde.

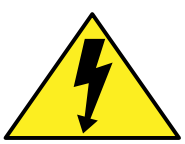
Exemplo: tomada elétrica com fios energizados.



RISCO:

produto da probabilidade de uma ocorrência e a gravidade do dano ela que pode causar.

Probabilidade alta de um choque elétrico.



+

Morte como possível consequência.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

RISCOS OCUPACIONAIS

Compreende-se como risco ocupacional aquele que está associado à execução de um trabalho. Compreende-se como trabalho a atividade realizada por um trabalhador sob o comando de uma organização.

Em um ambiente de trabalho e na execução de tarefas profissionais podem existir muitos tipos diferentes de riscos. Para organizar essa variedade, foram criados grupos de risco, como relacionado abaixo:

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

AS CONSEQUÊNCIAS DA EXPOSIÇÃO AO RISCO

Com foco nos riscos atmosféricos, se uma determinada substância presente no ambiente de trabalho vai afetar mais ou menos o organismo de uma pessoa depende de três fatores básicos. São eles:

Intensidade

O quanto a situação é nociva para os trabalhadores? Qual é a quantidade do contaminante presente no ar, ou qual é o grau de agressividade dessa substância para o corpo humano? As respostas a estas questões determinam se a situação é inofensiva, moderada ou altamente perigosa para as pessoas.

Tempo de exposição

Este fator é determinado pelo tempo necessário para que uma substância afete a saúde do trabalhador. Algumas substâncias podem colocar uma pessoa em risco somente se o tempo de exposição for muito longo (muitas horas por muitos dias). Outras substâncias, que são muita agressivas ao corpo humano mesmo em baixas concentrações, podem prejudicar a saúde de uma pessoa com pouquíssimo tempo de exposição, ou até mesmo colocar a vida dela em risco de forma imediata.

Sensibilidade individual

Sobre este fator não há forma de controle. As pessoas podem apresentar maior ou menor sensibilidade ao terem contato com uma determinada substância. Ao contato com um contaminante em uma atmosfera de um ambiente de trabalho alguns trabalhadores podem apresentar sintomas muito mais rapidamente do que outros, ou ter efeitos mais ou menos severos em diferentes pessoas.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

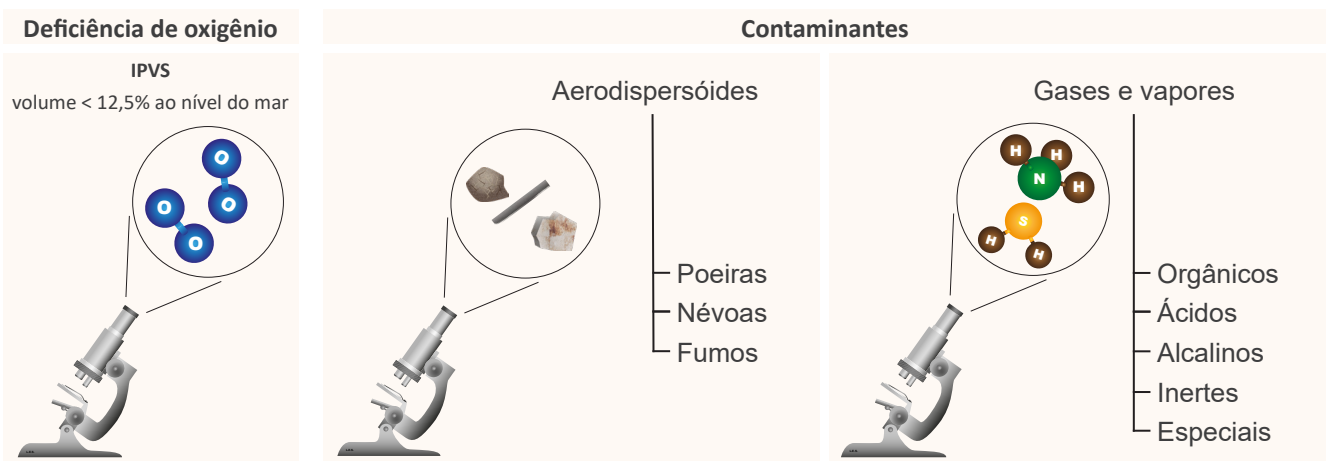
VIAS DE CONTAMINAÇÃO

São muitas as substâncias que podem estar presentes num ambiente de trabalho e com as quais os trabalhadores podem ter contato. Vimos que as consequências desse contato dependem da intensidade, do tempo de exposição e da sensibilidade individual, mas uma questão importante que se apresenta é a maneira pela qual a contaminação pode ocorrer.

Existem substâncias que podem afetar o corpo de uma pessoa pelo simples contato com a pele, podendo causar danos superficiais ou serem absorvidas pela derme e agirem dentro do corpo provocando efeitos prejudiciais. Outras substâncias apenas afetam o organismo humano se ingeridas, e uma vez dentro do corpo vão agir de diferentes formas dependendo do tipo de substância. E por fim, existem as substâncias que para afetarem o corpo humano precisam ser inaladas, podendo causar efeitos diferentes, sejam eles localizados ou distribuídos entre tecidos e órgãos.

Sobre o que é inalável

Os problemas para a saúde e as vidas dos trabalhadores podem se apresentar na atmosfera de um espaço de formas variadas. Pode ser a insuficiência de oxigênio no ar do ambiente, ou pode ser a presença de substâncias tóxicas em concentrações acima dos limites de tolerância e que podem afetar a saúde ou colocar em risco a vida de pessoas. Veja um resumo:



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

IMEDIATAMENTE PERIGOSO À VIDA E A SAÚDE (IPVS)

A sigla IPVS significa Imediatamente Perigoso à Vida e a Saúde, e é usada para classificar uma condição muito grave em um ambiente de trabalho.

As definições utilizadas no Brasil para classificar essa situação tem como fonte órgãos americanos como o NIOSH, sigla em inglês que traduzida significa Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional, e a OSHA, que em português significa Administração de Segurança e Saúde Ocupacional, ambas dos Estados Unidos da América.

A condição IPVS é muito grave em um ambiente de trabalho, e pode ser gerada pela presença de contaminantes no ar, como é destacado pelo NIOSH, ou com outros tipos de risco, segundo a OSHA.

Pela OSHA as fontes de perigo podem ser variadas, considerando todo e qualquer risco atmosférico que possa existir em um local de trabalho, que além de químicos incluem os térmicos e pneumáticos (insuficiência de oxigênio, gases super-resfriados, superaquecidos, câmaras hiperbáricas ou hipobáricas, submersas , etc).

A definição de IPVS da OSHA

"uma atmosfera que representa uma ameaça imediata à vida, com potencial de causar efeitos prejudiciais à saúde ou prejudicar a capacidade de um indivíduo de escapar de uma atmosfera perigosa."

Abaixo está transcrito um trecho do livro de autoria de Maurício Torloni e Antonio Vladimir Vieira, intitulado Manual de Proteção Respiratória, edição de 2003, publicado pela ABHO, sobre a definição de IDLH (*Immediately Dangerous to Life or Health*) atribuída ao NIOSH. Para ajudar o entendimento dessa definição, vamos separá-la em duas partes, como segue:

Condição imediatamente perigosa	Limite para exposição a riscos
É a concentração de um contaminante considerada Imediatamente Perigosa à Vida ou a Saúde. Refere-se à exposição respiratória aguda, que supõe uma ameaça direta de morte ou consequências adversas irreversíveis à saúde, instantâneas ou retardadas, ou exposições agudas aos olhos que impeçam a fuga da atmosfera perigosa.	A concentração IPVS (IDLH) é o nível máximo de exposição, durante 30 minutos, dentro do qual um trabalhador pode escapar na eventualidade de o respirador falhar, sem perda de vida ou ocorrência de efeito irreversível à saúde, imediato ou retardado.

Observação: Um artigo de autoria da NOAA's *Office of Response and Restoration*, instituição governamental dos Estados Unidos, alega que desde a década de 90 não se atribui mais um intervalo de tempo para exposição a uma atmosfera IPVS.

Na primeira parte da definição acima devemos compreender a condição IPVS como uma exposição aguda, ou seja, pode prejudicar a saúde de um trabalhador ou mesmo levá-lo à morte com pouco tempo de exposição ou até mesmo de forma imediata. Trata-se de uma condição tão perigosa para o ser humano que pode não dar chances ao trabalhador de escapar do local de perigo caso o respirador que o protege venha a falhar.

IMEDIATAMENTE PERIGOSO À VIDA E A SAÚDE (IPVS)

A segunda parte da definição de IPVS atribuída ao NIOSH tem a ver com a presença de contaminantes na atmosfera do local de trabalho, e que orienta o estabelecimento de limites de concentração para estes contaminantes.

Esses limites são obtidos por meio de testes em animais e devem oferecer alguma margem de segurança, ou seja, os limites determinados pelo NIOSH devem garantir que um trabalhador consiga escapar da atmosfera perigosa mesmo que o seu respirador venha a falhar. A situação continua sendo muito grave, por isso, para que a saúde e a vida da pessoa não sejam comprometidas ela deve sair da situação de perigo imediatamente.

No passado os americanos adotavam um limite de tempo de exposição em condições IPVS (valor máximo) de trinta minutos, mas isso foi abandonado e substituído pela ideia de que um trabalhador não deve se expor a uma atmosfera IPVS sem a devida proteção respiratória, e, caso aconteça dele repentinamente ficar exposto ao perigo, que o escape seja imediato.

Para compreender melhor essas duas diferentes condições na definição de IPVS, podemos usar como exemplo o gás Amônia. O limite IPVS da Amônia, segundo o NIOSH, é de 500 partes por milhão (ppm) de concentração. Este valor teve como origem o resultado de testes que demonstraram que há uma tolerância humana para uma concentração entre 300 a 500 ppm, por um intervalo de tempo entre 30 a 60 minutos (tolerância máxima de exposição curta). Ou seja, este limite oferece uma margem de segurança para um trabalhador que atua num ambiente contaminado por Amônia e que repentinamente venha a perder a proteção respiratória. No entanto, com uma concentração maior de Amônia essa margem de segurança pode não existir. Com uma concentração a partir de 2.500 ppm a condição é perigosa à vida, e a partir de 5.000 ppm ela se torna fatal.

Portanto, quando o fornecedor de uma substância química informa na ficha do produto um valor limite de IPVS, ele está oferecendo uma margem de segurança. Entretanto, acima do valor estipulado o risco de afetar a saúde ou levar o trabalhador à morte pode ser imediato, e sem chance de fuga.

O recomendável é considerar uma condição atmosférica IPVS sempre como potencialmente e imediatamente fatal, quando não há proteção respiratória adequada.

Um condição atmosférica deve ser classificada como IPVS quando:

- O contaminante não foi identificado ou quantificado;
- O contaminante ultrapassa o limite IPVS;
- O ar do ambiente está numa temperatura muito alta para ser respirado;
- A relação de volume e pressão de oxigênio não é segura;
- Qualquer outra condição numa atmosfera que tenha potencial para prejudicar a saúde ou colocar em risco a vida do trabalhador de forma imediata.

O oxigênio é essencial à vida, mas é benéfico apenas na proporção adequada.

A redução do seu volume ou o excesso dele torna-se perigoso.

Imagem de Evening Tao no Freepik

O AR DO QUAL PRECISAMOS

O corpo humano é uma "máquina" extraordinária, complexa e eficiente. Como qualquer outra máquina, precisa ser nutrida de energia e outras necessidades para funcionar, e funcionar bem.

O corpo humano necessita de diferentes fontes para ser nutrido, sendo que os recursos são obtidos através da comida (alimentação), da ingestão de líquidos (hidratação) e da respiração (oxigenação). Entre esses três processos, o de necessidade mais imediata é o da respiração, através da qual o organismo obtém o oxigênio. A sua demanda é tão urgente para o corpo que, sem ela, em poucos minutos as células começam a morrer, começando pelas do cérebro.

A importância da respiração

Até 4 semanas sem alimentação

Quatro semanas é o tempo que podemos sobreviver sem comida.

Até 3 dias sem hidratação

Três dias é o tempo que podemos sobreviver sem beber líquidos.

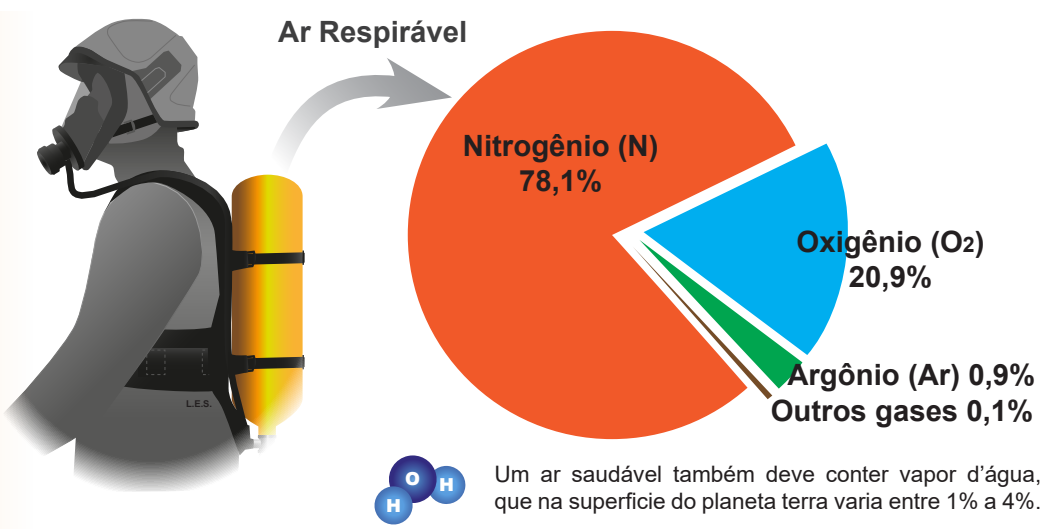
Até 3 minutos sem oxigenação

Três minutos é o tempo que podemos ficar sem oxigênio.

O corpo humano absorve o oxigênio do ar respirável

A vida dos seres humanos depende da absorção do oxigênio, e por causa disso é muito comum o equívoco das pessoas de confundir o oxigênio com o ar. São, de fato, relacionados, mas não são a mesma coisa. Por exemplo, quando alguém diz que os bombeiros estão usando sob as costas um cilindro de oxigênio acoplado a uma máscara, isso está errado. Pois a alta concentração de oxigênio respirado por muito tempo pode prejudicar o aparelho respiratório humano. O que os bombeiros têm em seus cilindros é o que chamamos de ar respirável.

Então, o que é o ar respirável? É um conjunto de gases composto principalmente de nitrogênio (N), oxigênio (O_2) e argônio (Ar) e mais de uma dúzia de outros gases em concentrações muito pequenas.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

O VOLUME IDEAL DE OXIGÊNIO

Além de precisarmos do suprimento ininterrupto de oxigênio, também precisamos dele numa relação ideal de volume e pressão para que o organismo o absorva adequadamente. Além da insuficiência, o excesso também pode ser um problema grave, seja para o organismo ou para o ambiente.

Como foi abordado no capítulo anterior, a maneira comum de quantificar a concentração de oxigênio é a porcentagem de volume, através da qual indicamos a proporção de oxigênio em meio a um conjunto de gases. Mas esse tipo de medida funciona bem ao nível do mar. Em altitudes onde o ar é rarefeito (menos denso), os 20,9% de oxigênio podem não ser suficientes para manter a vida humana. Por isso é tão ou mais importante considerar a pressão atmosférica, e mais especificamente a pressão parcial do oxigênio.

Em altitudes próximas ao nível do mar, pode-se estabelecer os limites seguros ou perigosos de oxigênio usando a porcentagem de volume, como segue:

> = maior < = menor ≥ = igual ou maior ≤ = igual ou menor

> 23%	Concentrações maiores de oxigênio tornam o ambiente perigoso, pois aumentam as chances de incêndios e explosões.
≤ 23%	Este é o limite máximo de concentração de oxigênio numa atmosfera considerada segura, desde que a causa do valor elevado de oxigênio seja conhecida e que hajam medidas para monitorar e controlar essa concentração.
20,9%	Esta é a concentração normal de oxigênio no nosso planeta, portanto, a concentração ideal para uma atmosfera segura.
≥ 19,5%	Este é o limite mínimo de concentração de oxigênio numa atmosfera considerada segura, desde que a causa do valor reduzido seja conhecida e que hajam medidas para monitorar e controlar essa concentração.
≤ 18%	Abaixo desse valor a atmosfera é considerada insuficiente em oxigênio, portanto, os equipamentos de proteção respiratória filtrantes, que dependem do oxigênio do ambiente, não são apropriados, devendo-se utilizar os respiradores independentes.
< 12,5%	Abaixo desse valor a atmosfera é IPVS, podendo gerar efeitos graves e imediatos no corpo humano.

CONSUMO DE AR DE UM SER HUMANO

Usaremos a unidade Litro para determinar o consumo de ar de um ser humano. Os números apresentados aqui ajudarão a compreender os limites de alguns equipamentos que serão abordados nos próximos capítulos.

O volume de ar que um ser humano precisa consumir varia, pois, fatores como a idade, a condição de saúde, o peso, o consumo de energia, o número de respirações por minuto e a intensidade da atividade física interferem no volume de ar que uma pessoa precisa consumir em um determinado tempo.

As referências sobre os valores de consumo também variam entre as diferentes fontes de informação, mas podemos considerar alguns valores mais comuns para efeito de comparação.

Considerando uma pessoa adulta, em idade de trabalhar e com boa condição de saúde, a cada inspiração ela pode inalar meio litro de ar. Considerando um ritmo normal de respiração, ela fará entre 12 a 15 respirações por minuto. Numa operação simples de multiplicação chegaremos ao resultado de 6 a 7,5 litros de ar por minuto. Porém, como foi abordado, vários fatores interferem no processo respiratório, que podem aumentar em muito o consumo de ar. Seguem alguns valores gerais de referência:

Variação do consumo de ar em função do esforço físico:	
Trabalho leve	16 litros por minuto (l/min)
Trabalho médio	29 litros por minuto (l/min)
Trabalho medianamente pesado	40 litros por minuto (l/min)
Correndo a 13 km/h	50 litros por minuto (l/min)
Trabalho pesado	59 litros por minuto (l/min)
Subindo 100 degraus por minuto	80 litros por minuto (l/min)
Trabalho máximo	132 litros por minuto (l/min)

Fonte: Manual de Proteção Respiratória, Maurício Torloni e Antonio Vladimir Vieira, ABHO, 2003. Referência ao *A Guide to Industrial Respiratory Protection*.

A PRESSÃO DE OXIGÊNIO NECESSÁRIA

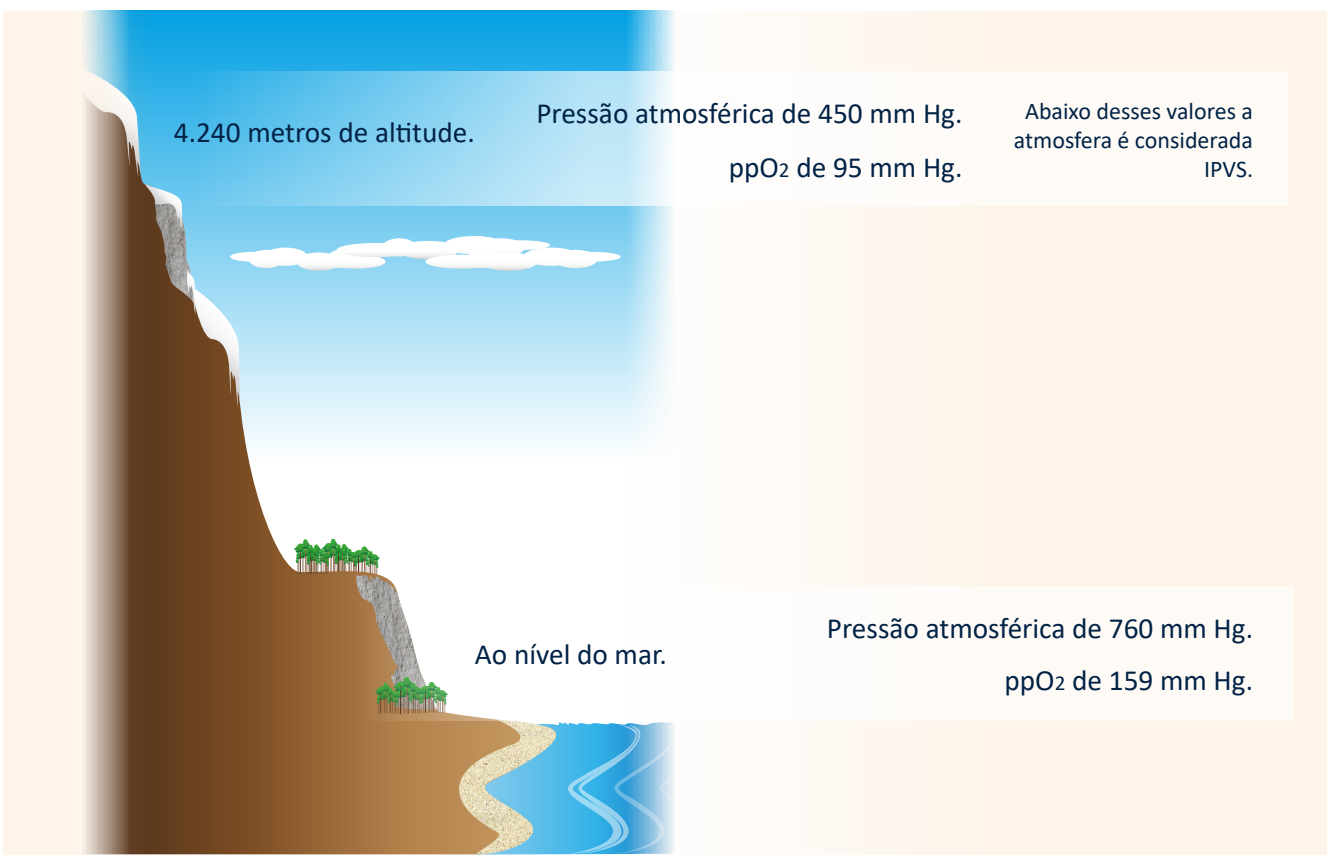
No alto do Monte Everest, que tem quase 9.000 metros de atitude, não há como o corpo humano se adaptar ao ar rarefeito. Um montanhista, caso se veja impedido de descer a montanha, inevitavelmente morrerá pois a pressão atmosférica é tão baixa que o corpo humano não terá como se adaptar à escassez de oxigênio, fazendo com que seu estado de saúde se degrade até a morte.

Para entender a importância da pressão atmosférica na absorção do oxigênio pelo corpo humano, vamos pensar em porcentagens de um valor em dinheiro. Determinar 10 % numa transação não basta, pois, a pergunta óbvia é: 10 % de que valor? Dez por cento de cem reais são dez reais, enquanto dez por cento de quinhentos mil reais são cinquenta mil reais, ou seja, os valores absolutos para 10 % podem ser muito diferentes.

O mesmo ocorre com o oxigênio em relação à altitude. A proporção de oxigênio no ar numa altitude de 8.000 metros será a mesma do nível do mar, ou seja, 20,9 % de volume, entretanto, será 20,9 % de poucas moléculas. A densidade e a pressão atmosférica a 8.000 metros são um terço daquelas encontradas ao nível do mar. Então, a quantidade de moléculas de oxigênio disponíveis para serem respiradas é muito menor.

Portanto, para um trabalho ocorrendo em um ambiente de pressão controlada ou em regiões de altitudes acima do nível do mar, a pressão atmosférica tem que ser considerada.

Ao nível do mar a pressão atmosférica é de 760 mm Hg (milímetros de mercúrio) e a pressão parcial do oxigênio (ppO_2) é de 195 mm Hg. Para uma pessoa adaptada a viver a uma pressão atmosférica próxima a do nível do mar, a diminuição de pressão terá efeitos, sendo que o limite de segurança é 450 mm Hg de pressão atmosférica e 95 mm Hg de ppO_2, equivalente a uma altitude de 4.320 metros. Abaixo desses valores a atmosfera é considera IPVS (Imediatamente Perigosa à Via e a Saúde).



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Como o oxigênio presente no ar é absorvido e utilizado pelo corpo humano?

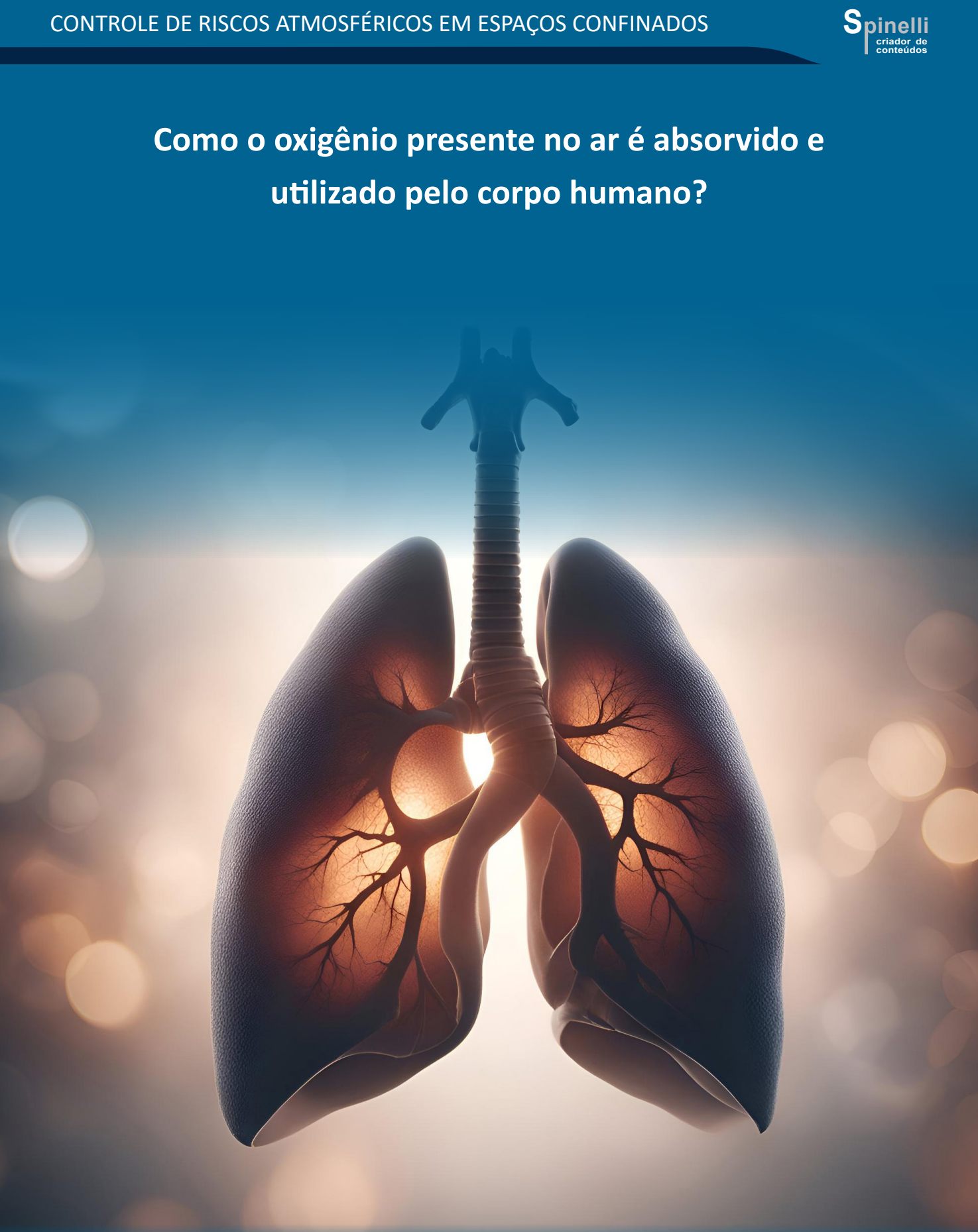
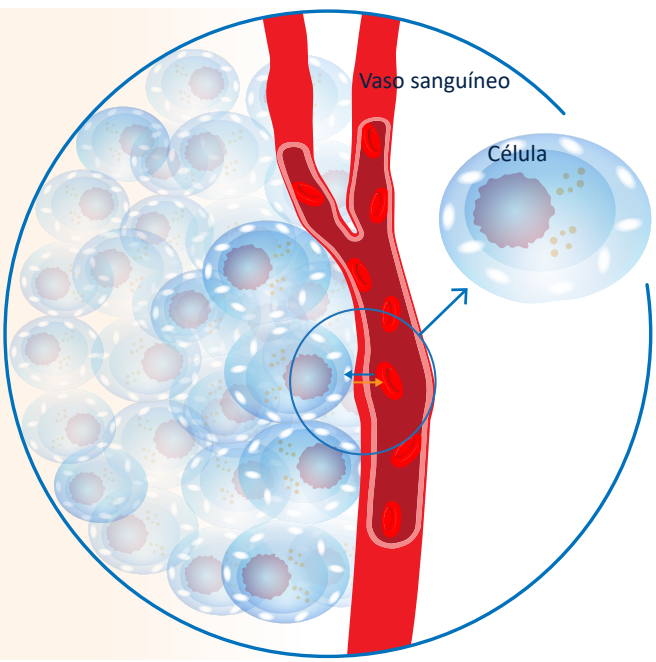


Imagem de Ibrandify no Freepik

A FUNÇÃO DO OXIGÊNIO NO ORGANISMO

O corpo humano é constituído de trilhões de células, com variedade de formas e funções, e dentro dessa diversidade elas são responsáveis pela defesa do corpo, pela geração de energia, entre muitas outras funções. Para nos mantermos vivos e ativos as células precisam produzir energia e substâncias necessárias ao corpo, e esse trabalho é chamado de metabolismo. O oxigênio é necessário para que as células humanas realizem o metabolismo.

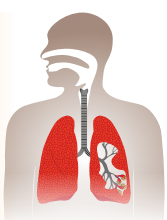
O fornecimento de oxigênio para as células precisa ser constante e imediato. Interrompido esse fornecimento, em poucos minutos as células do corpo começam a morrer, começando pelas do cérebro.



Hemácia
Célula do sangue responsável pelo transporte dos gases. Ela percorre os vasos sanguíneos entregando o oxigênio e recolhendo o gás carbônico.

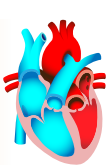
O suprimento de oxigênio permite que as células do corpo se mantenham vivas e desempenhando as suas funções.

Para que o oxigênio seja fornecido às células do corpo de forma ininterrupta, algumas funções do organismo precisam ser mantidas de forma permanente. São elas:

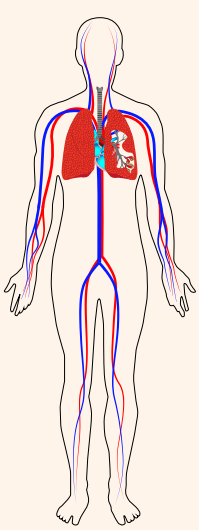


Respiração;

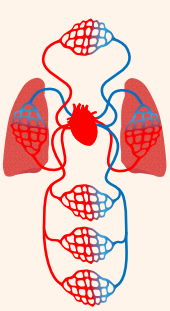
Volume de sangue;



Pulsação.



Essas funções são fornecidas pelo aparelho respiratório e pelo aparelho circulatório. Com eles o corpo mantém um circuito fechado de troca de gases.



Artéria
Transporta o sangue rico em oxigênio.

Veia
Transporta o sangue pobre em oxigênio.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

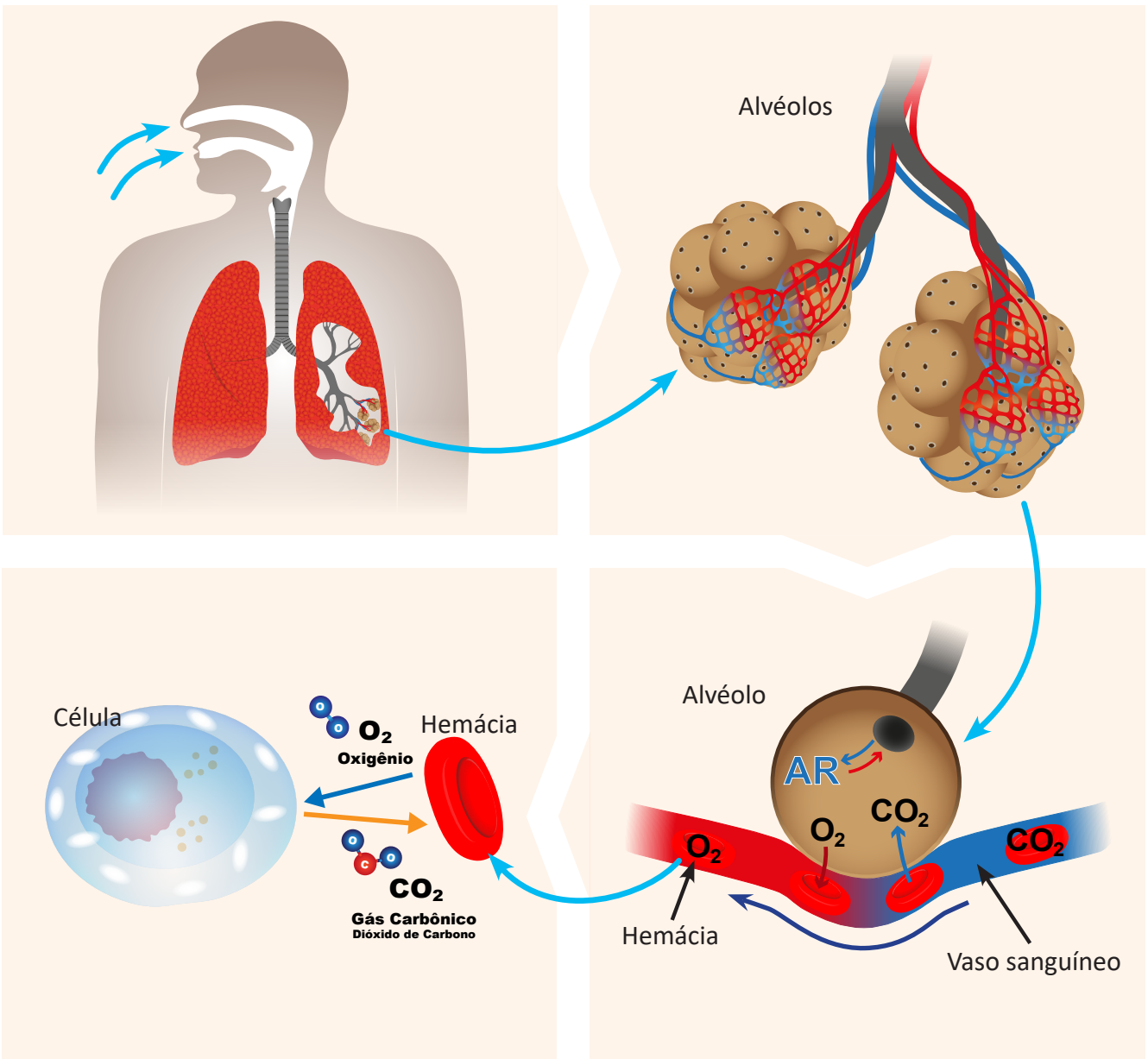
O TRAJETO DO OXIGÊNIO NO ORGANISMO

A maioria das células não tem contato direto com a atmosfera, então, como é que o oxigênio que está no ar respirável do ambiente consegue chegar a todas as células do corpo?

O ar respirável entra no organismo pelo aparelho respiratório superior e alcança os pulmões. No interior dos pulmões o ar alcança os alvéolos, e é neles que a troca de gases é realizada com o sistema circulatório.

Entre os alvéolos e os vasos sanguíneos acontece a troca de gases, cabendo à célula do sangue chamada de hemácia a função de trazer o gás carbônico para ser liberado para fora do corpo e absorver o oxigênio que está no ar dentro dos alvéolos para transportá-lo.

As hemácias carregadas de oxigênio percorrem os vasos sanguíneos fazendo a troca de gases com as outras células do corpo, entregando o oxigênio e recebendo o gás carbônico, num círculo ininterrupto e contínuo por toda a vida de uma pessoa.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

ALTERAÇÕES NA OFERTA DE OXIGÊNIO

Insuficiência de oxigênio

A chamada hipóxia é a condição em que o teor de oxigênio no organismo é baixo. Ela pode ser causada por diferentes mecanismos. Pode ocorrer pela baixa pressão atmosférica, ou pela baixa concentração de oxigênio, que por sua vez pode ser causada pelo consumo, como na respiração humana, ou por reações químicas como a oxidação ou combustão. Veja abaixo a lista das principais causas da redução da oferta de oxigênio:

Consumo humano	Ao respirar, cada ser humano aproveita aproximadamente 4% do volume aspirado. Em um local fechado e sem a renovação do ar, a respiração de várias pessoas poderá provocar a insuficiência do oxigênio.
Combustão	A presença de qualquer tipo de chama, seja em processos de corte, solda ou aquecimento de materiais, pode gerar o consumo do oxigênio disponível no ambiente de trabalho. E se não houver a renovação do ar ambiente, poderá ocorrer a deficiência de oxigênio.
Gases asfixiantes	Sistemas automáticos de combate a incêndio que utilizam o CO_2, ou os processos de inertização de ambientes que utilizam gases como o nitrogênio ou o argônio, expulsam o oxigênio, tornando a atmosfera perigosa para os seres humanos.
Reações químicas	A oxidação de superfícies (ferrugem) é um exemplo de reação química que pode consumir o oxigênio de um determinado ambiente fechado.
Bactérias	Os processos de decomposição de matérias orgânicas pelas bactérias podem consumir o oxigênio presente na atmosfera do local de trabalho. Situação que pode ser encontrada em esgotos, em águas residuais, etc.
Pressão atmosférica	Em locais fechados onde é possível controlar a pressão atmosférica ou em altitudes elevadas essa pressão pode ser menor. Abaixo de 95 mm Hg da ppO_2 a atmosfera é considerada IPVS.

Existe também a possibilidade de a hipóxia acontecer por alterações no processo respiratório do corpo humano, ou seja, o oxigênio existe no ambiente, mas não é inalado e/ou distribuído adequadamente para as células.

A diminuição da oferta de oxigênio para as células do corpo gera sinais e sintomas como, por exemplo, dores de cabeça, falta de ar, náuseas, fadiga, respiração rápida, reflexos comprometidos, fadiga mental, visão prejudicada, tonturas e convulsões.

A falta ou a precária oxigenação das células cerebrais gera reações graves e rápidas. A morte das células cerebrais pode acontecer em menos de 5 minutos após a interrupção do fornecimento de oxigênio. Como resultado, a hipóxia cerebral pode rapidamente causar a morte de uma pessoa ou causar graves danos cerebrais.

ALTERAÇÕES NA OFERTA DE OXIGÊNIO

Enriquecimento de oxigênio

O primeiro risco que se apresenta numa atmosfera com maior volume de oxigênio é o de incêndio. O oxigênio não é um gás inflamável, mas reage com a maioria dos demais elementos e é essencial para a reação química conhecida como combustão.

A presença de um volume maior de oxigênio na atmosfera de um ambiente de trabalho torna o início do fogo muito mais fácil, muito mais rápido, com maior vigor e com dimensões muito maiores.

Pequenas faíscas que em condições normais seriam inofensivas, em atmosferas enriquecidas de oxigênio funcionam facilmente como fontes de ignição. Materiais que normalmente não gerariam fogo ou que apresentam uma queima lenta, num ambiente com maior oferta de oxigênio queimam com muita intensidade.

Normalmente, o risco de uma atmosfera se tornar rica em oxigênio está relacionado com o uso, o transporte e o armazenamento do oxigênio, seja ele na forma líquida (sob baixíssimas temperaturas) ou na forma de gás sob pressão.

É comum o uso de cilindros de oxigênio em atividades de construção e de manutenção, bem como o uso medicinal em ambientes hospitalares.

Efeitos do excesso de oxigênio no corpo humano

Em condições muito especiais, um ser humano exposto a uma concentração alta de oxigênio e por um período de muitas horas pode ter o organismo prejudicado. Essa condição é chamada de hiperóxia, que é o estado em que há excesso de oxigênio. Os sintomas da hiperóxia incluem câimbras, náuseas, tontura, irritabilidade, perda de reflexos, dor de cabeça, alterações auditivas, redução da frequência cardíaca, entre outros.

O excesso de oxigênio no organismo humano pode prejudicar o sistema respiratório central, provocar reações na traqueia, danos nos alvéolos e riscos de infecções, entre outros.

As pessoas que normalmente são afetadas pela hiperóxia são as submetidas aos tratamentos médicos que envolvem o oxigênio.

É um fato importante que para os trabalhadores o risco de incêndio é muito mais relevante e muito mais imediato do que o risco de ter a saúde prejudicada pelo excesso de oxigênio.

Sejam quais forem os riscos, é importantíssimo que em todo ambiente de trabalho onde sejam previstos riscos atmosféricos, ou em atividades que envolvam substâncias que possam ser nocivas a vida e a saúde dos trabalhadores, a atmosfera seja devidamente avaliada e monitorada.

RANGER LCCM

FALE CONOSCO:

rangersms.com.br

81 4040-4309 / 81 99345-3092

Rua Morais e Silva 383, Estância,
Recife - PE, 50865-100

RANGER LCCM

Somos uma empresa de gestão de Espaços confinados com foco em atendimento das necessidades dos clientes, realizando consultorias técnicas, inventários, treinamentos e gestão de Resgate em atendimento as Normas regulamentadoras, além de trabalharmos com vendas e locações de equipamentos.

Recife - Pernambuco - Brasil

Soluções para

Espaços Confinados:

Vendas e locações de equipamentos

Acompanhamento de atividades

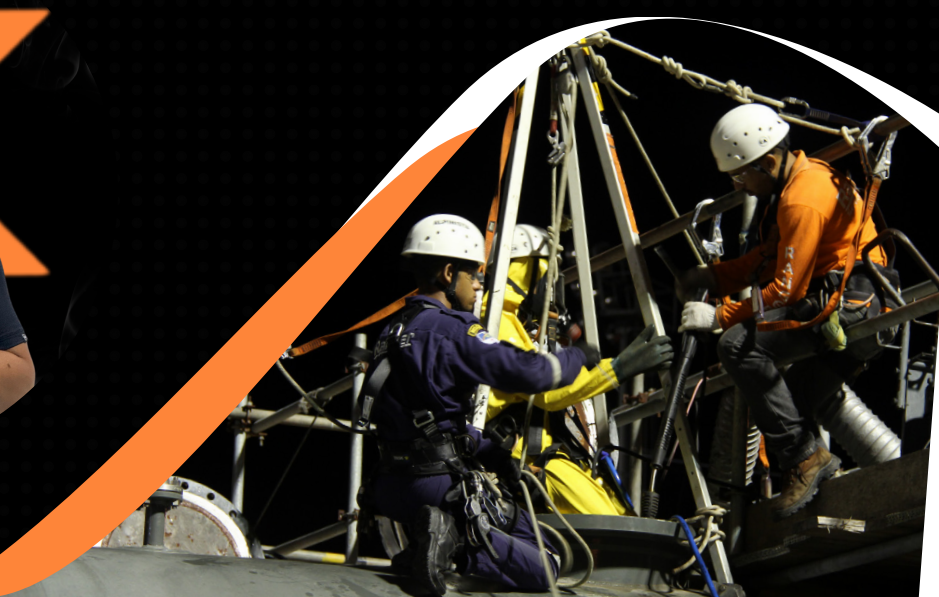
Plano de resgate

Treinamentos

Inventário

Atendemos todo o Brasil

CARLOS LCCM



TOXIDEZ

Imagens Freepik
Caveira: rawpixel.com

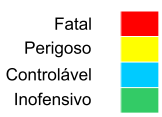
TOXIDEZ

Segundo os dicionários, tóxica é toda substância que tem a propriedade de envenenar. Que pode afetar o sistema nervoso ou fazer mal a alguma outra parte do organismo. A toxidez é a característica ou a qualidade do que é tóxico.

Considerando os diferentes de riscos atmosféricos, o mais recorrente é o da atmosfera estar envenenada, ou seja, de conter alguma substância em meio aos gases que compõem o ar numa quantidade acima do limite seguro ou conter alguma substância exótica e perigosa. Essas substâncias são denominadas tóxicas.

Dentro do nosso contexto, tóxico é um gás, um vapor ou partículas em suspensão no ar que de alguma forma provocam alterações em algum tecido do corpo humano, prejudicando as suas funções normais, podendo provocar danos temporários ou permanentes, ou até mesmo a morte.

É importante lembrarmos que a reação do corpo humano em contato com um agente agressivo depende de três fatore básicos. São eles:

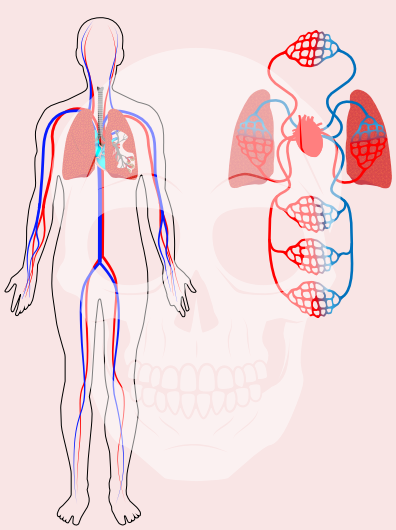


Intensidade

Tempo de exposição

Sensibilidade individual

A forma como uma substância tóxica afeta o organismo humano é variável. Pode causar inflamações e lesões nos tecidos internos do corpo, pode competir com a absorção do oxigênio ou interferir no funcionamento dos sistemas respiratório e circulatório.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CLASSIFICAÇÃO DOS GASES

Considerando o efeito das substâncias químicas sobre o corpo humano quando inaladas, classificamos os gases em três grupos. São eles:

Irritantes

Os gases irritantes são substâncias que agridem o aparelho respiratório. Eles podem provocar a inflamação dos tecidos e com o agravamento da situação podem gerar também a infecção das áreas afetadas. Os gases irritantes são classificados considerando as partes do trato respiratório que podem afetar. Por exemplo, existem os irritantes que agem sobre as vias superiores (fossa nasal, faringe, laringe), os que afetam os brônquios, ou os que podem causar danos aos pulmões.

Exemplos de gases irritantes: Gás Clorídrico (HCl), Ácido Sulfúrico (H2SO4), Amônia (NH3), Gás Sulfídrico (H2S), Ozônio (O3), etc.

Anestésicos

Esses gases podem levar à perda de sensibilidade de partes do corpo e/ou prejudicar o funcionamento de funções orgânicas. Por exemplo, o benzeno pode afetar o sistema produtor de sangue. Outros gases classificados como anestésicos podem afetar as vísceras, o sistema circulatório, ou agir sobre o sistema nervoso.

Exemplos de gases anestésicos: Butano (C4H10), Propano (C3H8), Benzeno (C6H6), Álcool Metílico (CH3OH), Álcool Etílico (C2H5OH), etc.

Asfixiantes

São gases que interferem no processo de oxigenação das células. Eles são classificados como asfixiantes simples ou asfixiantes químicos.

Os **Asfixiantes Simples** podem ser gases inertes como, por exemplo, o Nitrogênio, que compõe o ar respirável. Ou seja, podem ser substâncias que não geram reações no corpo humano, contudo, quando em grandes quantidades podem ocupar o lugar do oxigênio impedindo o processo de oxigenação das células. E sem oxigênio as células morrem.

Exemplos de asfixiantes simples: Hidrogênio (H2), Nitrogênio (N2), Hélio (He), Metano (CH4), Acetileno (C2H2), etc.

Os **Asfixiantes Químicos** interferem na utilização do oxigênio pelo corpo humano. Podem afetar o processo bioquímico entre a hemoglobina e o oxigênio. A hemoglobina é uma proteína dentro das células do sangue (hemácias) que é responsável por transportar o oxigênio para as demais células do corpo.

Exemplos de asfixiantes químicos: Monóxido de Carbono (CO), gás Sulfídrico (H2S), gás Cianídrico (HCN), etc.

LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

A intensidade (quantidade e potência) e o tempo de exposição vão determinar as consequências do contato com substâncias tóxicas para o trabalhador.

Existem limites estabelecidos pela legislação brasileira e por órgãos internacionais para a relação de quantidade e tempo de exposição. Esses limites garantem a preservação da saúde dos trabalhadores, mesmo que eles tenham contato com as substâncias nocivas.

São eles:

L.T.
Limite de Tolerância

Este limite determina a concentração máxima de uma substância química presente na atmosfera de um ambiente de trabalho a que um trabalhador possa estar exposto na sua jornada de trabalho e que não prejudique a sua saúde ou coloque a sua vida em risco. A tal jornada de trabalho não pode exceder 48 horas semanais.

Portanto, trata-se dos limites estabelecidos de quantidade e de tempo de exposição para não prejudicar as pessoas.

Os limites de tolerância são estabelecidos pela Norma Regulamentadora número 15, que teve como base os valores de referência da ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists – EUA*) da década de 70.

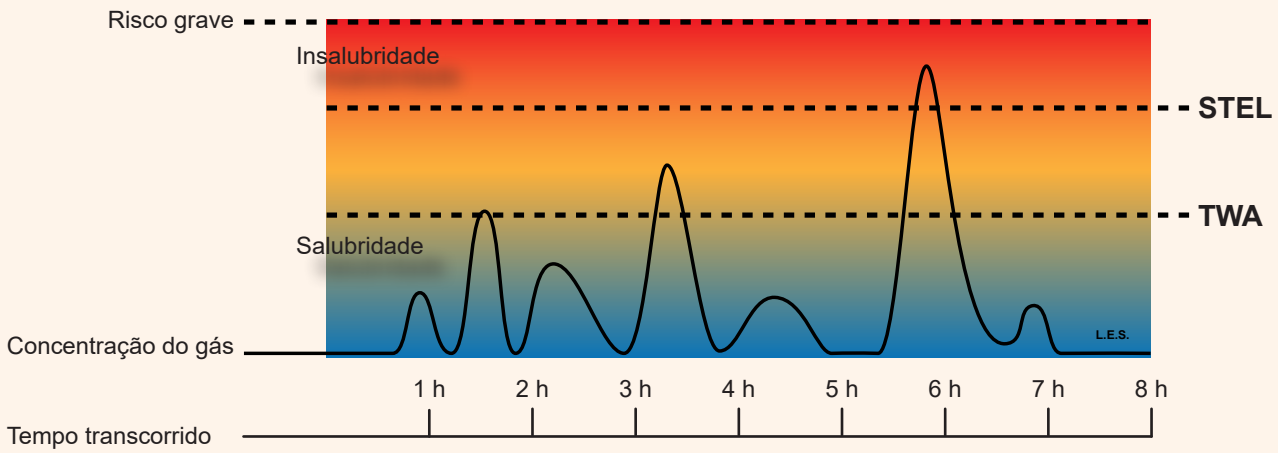
Os valores brasileiros foram reduzidos porque a ACGIH considera jornadas semanais de 40 horas, enquanto no Brasil considera-se até 48 horas semanais de trabalho.

I.P.V.S.
Imediatamente Perigoso à Vida e a Saúde

Como foi abordado no início deste capítulo, ao tratarmos do IPVS podemos nos referir à condição atmosférica de um local de trabalho ou à indicação do valor limite de concentração de uma substância química, no qual há uma margem de segurança. É essa segunda opção que tem relação com os limites adotados para os produtos tóxicos, que é a pior condição de exposição da qual o trabalhador pode escapar caso o respirador venha a falhar, e sem o risco de morte ou efeitos nocivos à saúde.

LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

Com base nos Limites de Exposição Ocupacional (LEO) adotados no Brasil ou propostos pela ACGIH, os detectores de gás saem de fábrica com duas funções de monitoramento que consideram a relação de concentração e o tempo de exposição. São elas:



T.W.A. Time Weighted Average (Média Ponderada do Tempo)

Quando necessário, o trabalhador pode ter a exposição a determinados gases tóxicos monitorada por oito horas consecutivas.

Um trabalhador atuando em um ambiente específico de trabalho ou numa rotina que exija circular por uma planta industrial terá o detector de gases para monitorar, para registrar e para calcular a exposição ao longo das horas trabalhadas.

Em rotinas como essas, as condições podem variar muito, com momentos sem a presença de gases e outros momentos em que os gases alcançam valores elevados. Por isso esse tipo de monitoramento calcula a média ponderada de exposição.

Mas o que é uma média ponderada? Uma média simples soma um conjunto de valores e divide essa soma pelo número de itens. Por exemplo, a média de cinco diferentes valores é obtida somando todos eles e depois dividindo o valor total por cinco. Na média ponderada o cálculo é mais complexo. São atribuídos aos valores importâncias diferentes, então, ao longo do dia são realizados vários cálculos para depois se obter um valor médio.

Caso, ao longo do dia de trabalho, o detector identificar um valor acima da média determinada, o aparelho irá emitir sinais de alerta.

LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

S.T.E.L.
Short Term Exposure Limit
(Limite de Exposição a Curto Prazo)

Considerando que ao longo de uma jornada de trabalho de oito horas poderá haver grandes variações na exposição a determinados gases, o STEL é um monitoramento complementar ao TWA, pois detecta, registra e calcula eventuais valores de pico em intervalos curtos de tempo.

O STEL é a concentração máxima à qual uma pessoa pode ficar exposta por um período de quinze minutos. E com as restrições de que essas exposições se limitem, no máximo, a quatro vez por dia e com intervalos de pelo menos sessenta minutos entre cada uma.

Caso o detector de gases identifique valores acima dos programados, ele irá emitir sinais de alerta.

TWA
Monitora e calcula o limite de exposição a um determinado gás por um período de 8 horas.

STEL
Monitora o limite de exposição a um determinado gás por um período de 15 minutos.

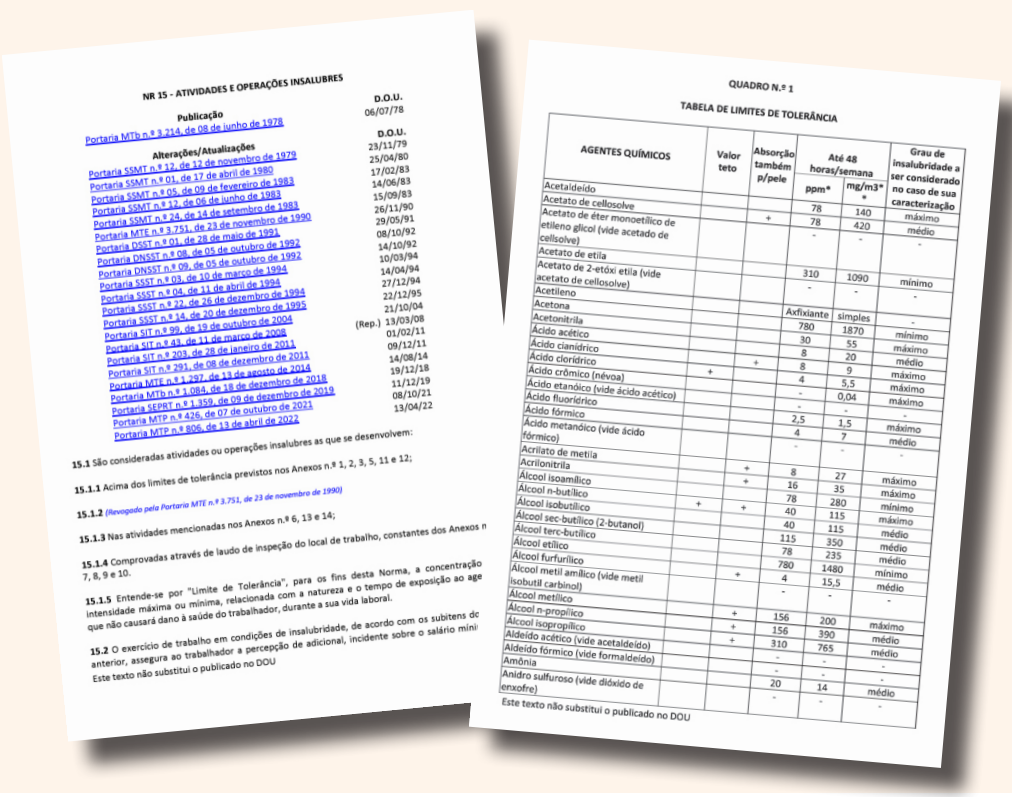
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

Quem estabelece os limites de tolerância?

No Brasil, os limites de tolerância para a exposição a contaminantes são determinados pela Norma Regulamentadora número 15, cujo título é ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES. Ela é mandatória e tem relevância legal para a gestão dos trabalhos insalubres.

A NR 15 se constitui de um pequeno corpo de texto complementado por um grande número de anexos. Entre esses anexos há uma tabela para agentes químicos e os seus respectivos valores de tolerância. Essa tabela foi baseada na lista da ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists – EUA*) de 1977, e esse é um dos fatos que gera críticas de alguns profissionais brasileiros. Ela é limitada quanto às substâncias relacionadas, e em alguns casos defasada em relação aos limites de tolerância estabelecidos pelas publicações mais recentes da própria ACGIH.



NR 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES

Publicação	D.O.U.
Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978	06/07/78
Alterações/Atualizações	**D.O.U.**
Portaria SSMT n.º 12, de 12 de novembro de 1979	23/11/79
Portaria SSMT n.º 01, de 17 de abril de 1980	25/04/80
Portaria SSMT n.º 05, de 09 de fevereiro de 1983	17/02/83
Portaria SSMT n.º 12, de 06 de junho de 1983	14/06/83
Portaria SSMT n.º 24, de 14 de setembro de 1983	15/09/83
Portaria MTE n.º 3.751, de 23 de novembro de 1990	26/11/90
Portaria DSST n.º 01, de 28 de maio de 1991	29/05/91
Portaria DSST n.º 08, de 05 de outubro de 1992	08/10/92
Portaria DNSST n.º 09, de 05 de outubro de 1992	14/10/92
Portaria DNSST n.º 03, de 10 de março de 1994	10/03/94
Portaria SSST n.º 04, de 11 de abril de 1994	14/04/94
Portaria SSST n.º 22, de 26 de dezembro de 1994	27/12/94
Portaria SSST n.º 12, de 20 de dezembro de 1995	22/12/95
Portaria SSST n.º 14, de 20 de dezembro de 1995	21/10/04
Portaria SIT n.º 99, de 19 de outubro de 2004	(Rep.) 13/03/08
Portaria SIT n.º 43, de 11 de março de 2008	01/02/11
Portaria SIT n.º 203, de 28 de janeiro de 2011	09/12/11
Portaria SIT n.º 291, de 08 de dezembro de 2011	14/08/14
Portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014	19/12/18
Portaria MTb n.º 1.084, de 18 de dezembro de 2018	11/12/19
Portaria SEPRT n.º 1.359, de 09 de dezembro de 2019	08/10/21
Portaria MTP n.º 426, de 07 de outubro de 2021	13/04/22
Portaria MTP n.º 806, de 13 de abril de 2022	

15.1 São consideradas atividades ou operações insalubres as que se desenvolvem:

15.1.1 Acima dos limites de tolerância previstos nos Anexos n.º 1, 2, 3, 5, 11 e 12;

15.1.2 *(Revogado pela Portaria MTE n.º 3.751, de 23 de novembro de 1990)*

15.1.3 Nas atividades mencionadas nos Anexos n.º 6, 13 e 14;

15.1.4 Comprovadas através de laudo de inspeção do local de trabalho, constantes dos Anexos n 7, 8, 9 e 10.

15.1.5 Entende-se por "Limite de Tolerância", para os fins desta Norma, a concentração intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao age que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral.

15.2 O exercício de trabalho em condições de insalubridade, de acordo com os subitens do anterior, assegura ao trabalhador a percepção de adicional, incidente sobre o salário mini

Este texto não substitui o publicado no DOU

QUADRO N.º 1

TABELA DE LIMITES DE TOLERÂNCIA

AGENTES QUÍMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana ppm*	Até 48 horas/semana mg/m3*	Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
Acetaldeído			78	140	máximo
Acetato de cellosolve		+	78	420	máximo
Acetato de éter monoetílico de etileno glicol (vide acetado de cellsolve)			-	-	médio
Acetato de etila			310	1090	mínimo
Acetato de 2-etóxi etila (vide acetato de cellosolve)			-	-	-
Acetileno			Axfixiante	simples	-
Acetona			780	1870	mínimo
Acetonitrila			30	55	máximo
Ácido acético			8	20	médio
Ácido cianídrico		+	8	9	máximo
Ácido clorídrico	+		4	5,5	máximo
Ácido crômico (névoa)			-	0,04	máximo
Ácido etanóico (vide ácido acético)			-	-	-
Ácido fluorídrico			2,5	1,5	máximo
Ácido fórmico			4	7	médio
Ácido metanóico (vide ácido fórmico)			-	-	-
Acrilato de metila		+	8	27	máximo
Acrilonitrila		+	16	35	máximo
Álcool isoamílico		+	78	280	mínimo
Álcool n-butílico	+	+	40	115	máximo
Álcool isobutílico			40	115	médio
Álcool sec-butílico (2-butanol)			115	350	médio
Álcool terc-butílico			78	235	médio
Álcool etílico			780	1480	mínimo
Álcool furfurílico		+	4	15,5	médio
Álcool metil amílico (vide metil isobutil carbinol)			-	-	-
Álcool metílico		+	156	200	máximo
Álcool n-propílico		+	156	390	médio
Álcool isopropílico		+	310	765	médio
Aldeído acético (vide acetaldeído)			-	-	-
Aldeído fórmico (vide formaldeído)			-	-	-
Amônia			20	14	médio
Anidro sulfuroso (vide dióxido de enxofre)			-	-	-

Este texto não substitui o publicado no DOU

A NR 15 tem prevalência legal sobre a gestão da insalubridade no Brasil, mas se o foco de uma organização é a saúde do trabalhador, os limites da ACGIH são, em muitos casos, mas restritivos e consequentemente mais seguros.

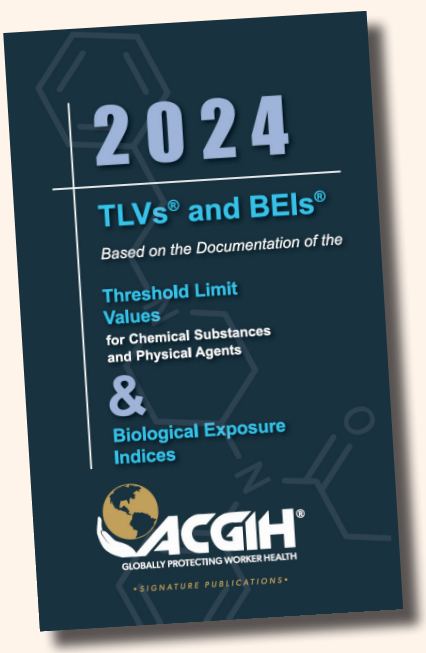
As normas regulamentadoras, por padrão, estabelecem os requisitos mínimos de segurança, cabendo às organizações adotarem metidas mais rigorosas quando entenderem necessárias. Isso não é diferente para a exposição dos trabalhadores às substâncias químicas, fazendo com que gestores adotem os limites atuais da ACGIH quando estes forem mais restritivos e seguros.

LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

ACGIH

A ACGIH, cuja sigla traduzida literalmente significa “Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais”, é uma organização americana sem fins lucrativos, fundada na década de 1930 por um grupo de higienistas.

A ACGIH existe para fornecer informações e orientações sobre a saúde ocupacional e a higiene industrial. Ela disponibiliza periodicamente um conjunto de publicações, entre elas a *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices* (Valores Limite para Substâncias Químicas e para Agentes Físicos, e Índices de Exposição Biológica).



Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices.

Valores Limite para Substâncias Químicas e para Agentes Físicos, e Índices de Exposição Biológica.

Versão em português

A versão traduzida para o português é produzida e vendida pela Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO) na sua loja virtual.

A importância da ACGIH no Brasil

Os valores apresentados pela ACGIH têm relevância no mercado de trabalho brasileiro por causa da norma técnica ABNT NBR 16577:2017 (Espaço confinado – Prevenção de acidentes) e da norma regulamentadora NR 9 (Validação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e Biológicos).

A NBR 16577 recomenda adotar o valor mais restritivo entre a NR 15 e a ACGIH. Portanto, se a ACGIH determina um limite de tolerância mais seguro do que a NR 15, ela recomenda que o valor mais seguro seja adotado.

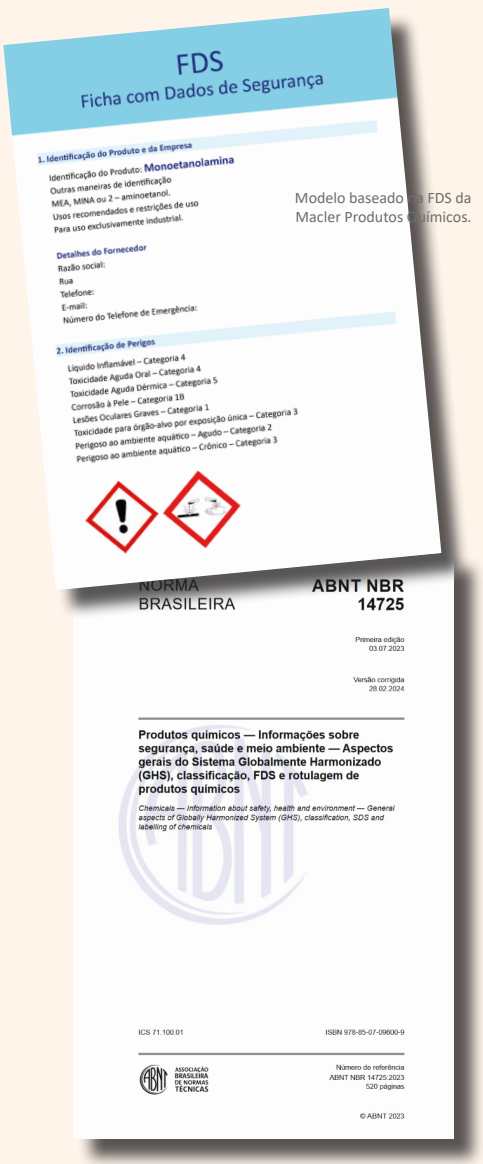
A NR 9 determina que na ausência de limites de tolerância na NR 15, devem ser adotados os limites da ACGIH.

CONHECENDO OS RISCOS

A fonte mais importante de informação para conhecer os riscos presentes no transporte, armazenamento e manuseio de produtos químicos é a Ficha de Dados de Segurança (FDS). A FDS é um documento padronizado pela norma técnica ABNT NBR 14725 de 2023, em substituição à tradicional e antiga FISPQ (Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos).

A criação e a padronização da FISPQ, substituída em 2023 pela FDS, é consequência de um Decreto-Lei brasileiro que ratificou uma convenção da Organização Internacional do Trabalho, e que tem por objetivo fornecer aos trabalhadores as informações essenciais para os cuidados com a saúde e a segurança no manuseio, na guarda e no transporte de substâncias perigosas.

A disponibilização da FDS de qualquer produto químico é uma obrigação legal que atende à legislação ambiental, de segurança do trabalho, e da defesa ao consumidor.


FDS
Ficha com Dados de Segurança

1. Identificação do Produto e da Empresa
Identificação do Produto: Monoetanolamina
Outras maneiras de identificação
MEA, MINA ou 2 – aminoetanol.
Usos recomendados e restrições de uso
Para uso exclusivamente industrial.

Detalhes do Fornecedor
Razão social:
Rua
Telefone:
E-mail:
Número do Telefone de Emergência:

2. Identificação de Perigos
Líquido Inflamável – Categoria 4
Toxicidade Aguda Oral – Categoria 4
Toxicidade Aguda Dérmica – Categoria 5
Corrosão à Pele – Categoria 1B
Lesões Oculares Graves – Categoria 1
Toxicidade para órgão-alvo por exposição única – Categoria 3
Perigoso ao ambiente aquático – Agudo – Categoria 2
Perigoso ao ambiente aquático – Crônico – Categoria 3

NORMA BRASILEIRA
ABNT NBR 14725
Primeira edição 03.07.2023
Versão corrigida 28.02.2024
Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente — Aspectos gerais do Sistema Globalmente Harmonizado (GHS), classificação, FDS e rotulagem de produtos químicos
Chemicals — Information about safety, health and environment — General aspects of Globally Harmonized System (GHS), classification, SDS and labelling of chemicals
ICS 71.100.01
ISBN 978-85-07-09600-9
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
Número de referência ABNT NBR 14725:2023 520 páginas
© ABNT 2023

Modelo baseado na FDS da Macler Produtos Químicos.

Em obediência à NBR 14725, a FDS é dividida em seções que contemplam informações sobre os produtos e sobre as ações de emergência a serem adotadas em caso de acidente. As informações são organizadas nos seguintes tópicos:

1 – Identificação;

2 – Identificação de perigos;

3 – Composição e informações sobre os ingredientes;

4 – Medidas de primeiros-socorros;

5 – Medidas de combate a incêndio;

6 – Medidas de controle para derramamento ou vazamento;

7 – Manuseio e armazenamento;

8 – Controle de exposição e proteção individual;

9 – Propriedades físicas e químicas;

10 – Estabilidade e reatividade;

11 – Informações toxicológicas;

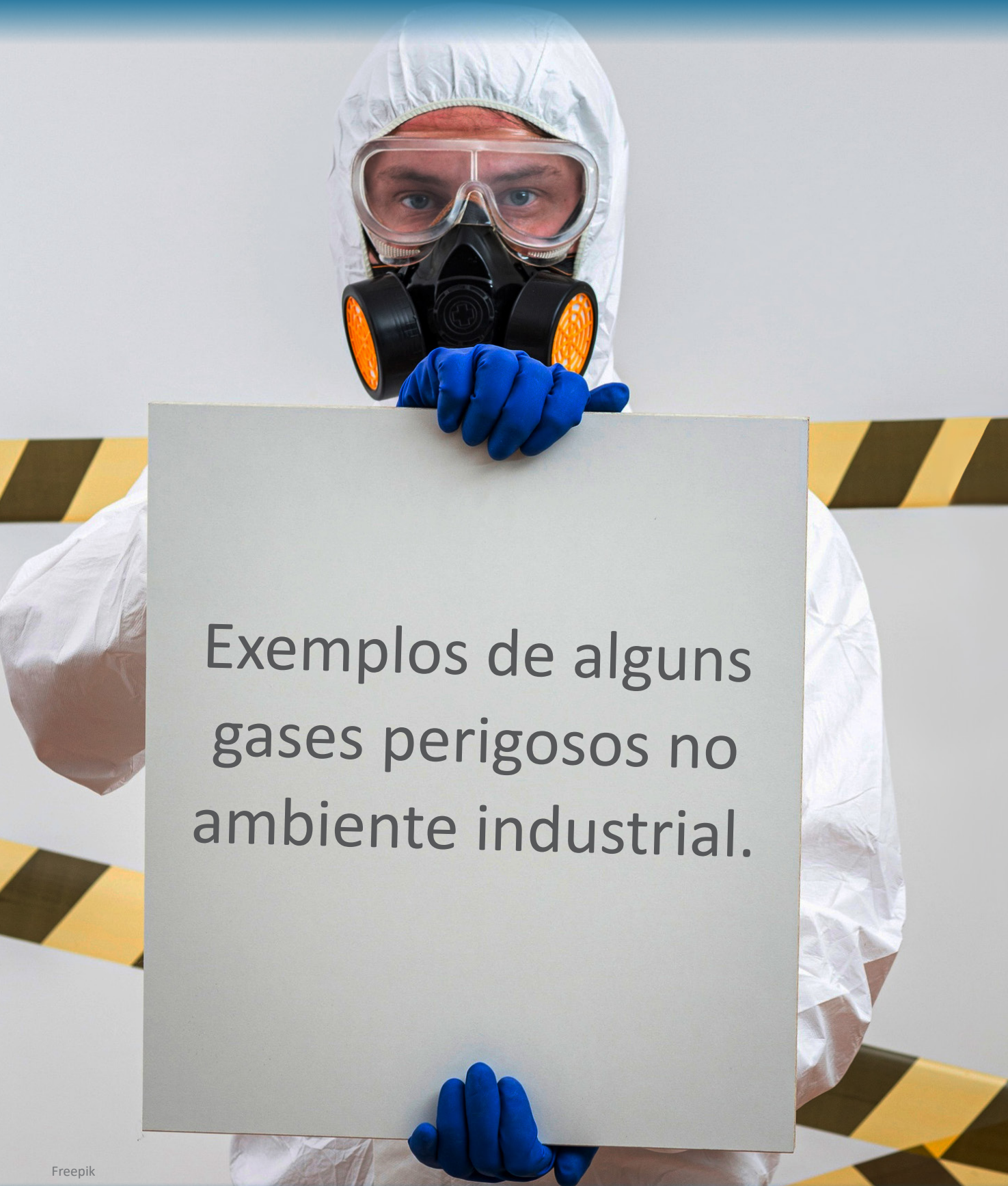
12 – Informações ecológicas;

13 – Considerações sobre destinação final;

14 – Informações sobre transporte;

15 – Informações sobre Regulamentações;

16 – Outras informações.


Exemplos de alguns gases perigosos no ambiente industrial.

Freepik

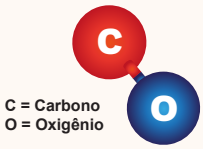
MONÓXIDO DE CARBONO

Asfixiante químico

Símbolo

CO

Molécula



C = Carbono
O = Oxigênio

Periculosidade

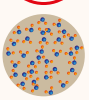
Altamente tóxico

Levemente inflamável

Características

Incolor. Não é percebido pela visão.

Inodoro. Não é percebido pelo olfato.



A densidade relativa ao ar é 0,967.

Fontes de emissão

Acontece com a queima incompleta de combustíveis derivados de petróleo e outras substâncias ricas em carbono. É emitido por automóveis com motores a combustão, por processos industriais, por fornos a lenha e por fornalhas, entre outros.

Sintomas do envenenamento

Em baixas concentrações pode provocar dores de cabeça leves e náuseas. Em concentrações maiores pode causar fraqueza, tontura, fortes dores de cabeça e vômito. Em grande concentração poderá provocar convulsões, alterações do ritmo cardíaco, dificuldades em respirar, alterações no sistema nervoso central e morte.

Observação: os efeitos dos asfixiantes químicos não são relacionados com a falta de oxigênio no ambiente, mas com a incapacidade do corpo em aproveitá-lo.

Limite de tolerância (NR 15)

39 ppm (partes por milhão).

Para exposição em períodos de trabalho, que não podem ultrapassar 48 horas semanais.

Limites de inflamabilidade (risco de incêndio e explosão)

Entre 12,5% e 74% do volume de gases do ambiente.

Entenda os limites superior e inferior de inflamabilidade no capítulo sobre química.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

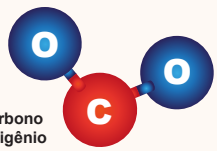
DIÓXIDO DE CARBONO

Gás carbônico

Asfixiante simples

Símbolo **Molécula**

CO_2



C = Carbono
O = Oxigênio

Periculosidade

Asfixiante

Não é inflamável

Características

Incolor. Não é percebido pela visão.

A partir de 5% de volume pode ser percebido como um odor levemente ácido, e para algumas pessoas tem o gosto e o odor levemente cáustico.

A densidade relativa ao ar é 1,522.

Fontes de emissão

As fontes naturais são a respiração dos seres humanos e dos animais, erupções vulcânicas, queimadas naturais e a queima de gás natural. No processo de combustão, a queima completa gera CO_2. As emissões de origem antrópicas (interferência humana) incluiem a combustão completa de compostos orgânicos (carvão, hidrocarbonetos, madeira, etc.) e a fermentação de compostos orgânicos, entre outros.

Sintomas do envenenamento

A até 2% de volume o dióxido de carbono pode provocar um aumento da taxa de respiração, e em exposições prolongadas pode provocar dor de cabeça e fadiga. Entre 3% e 4% os sintomas se agravam, e pode ser percebida uma sensação de asfixia, problemas na audição, aumento da pressão sanguínea, aumento da pulsação. Entre 5% e 10% a respiração torna-se difícil, surge um zumbido nos ouvidos e pode ocorrer a perda de consciência. Acima de 50% pode ocorrer a morte por asfixia.

Limite de tolerância (NR 15)

3.900 ppm (partes por milhão).

Para exposição em períodos de trabalho, que não podem ultrapassar 48 horas semanais.

Limites de inflamabilidade (risco de incêndio e explosão)

Não é inflamável.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

SULFETO DE HIDROGÊNIO

Gás Sulfídrico

Irritante

Símbolo **Molécula**

H_2S

S = Enxofre
H = Hidrogênio

Periculosidade

Muito tóxico

Inflamável

Características

Incolor. Não é percebido pela visão.

O odor é de ovo podre, porém, só é percebido em baixas concentrações. Em concentrações perigosas ou em longas exposições ele enibe o olfato.

A densidade relativa ao ar é 1,2.

Fontes de emissão

Ocorre na natureza onde é encontrado no petróleo bruto, no gás natural, nos gases vulcânicos e nas fontes termais. Também é produzido no processo de decomposição de matérias orgânicas. É produzido em processos industriais como o refino de petróleo ou processamento de celulose e alimentos.

Sintomas do envenenamento

Trata-se de uma substância irritante das mucosas do corpo e do aparelho respiratório, podendo ocasionar edema pulmonar imediato ou tardio. Os sintomas incluem náuseas, dores de cabeça, delírios, distúrbios do equilíbrio, convulsões e irritação da pele e dos olhos. Em altas concentrações leva à inconsciência e morte.

Limite de tolerância

8 ppm (partes por milhão).

Para exposição em períodos de trabalho, que não podem ultrapassar 48 horas semanais.

Limites de inflamabilidade (risco de incêndio e explosão)

Entre 4,3% e 45% do volume de gases do ambiente.

Entenda os limites superior e inferior de inflamabilidade no capítulo sobre química.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

AMÔNIA

Amônia Anidra

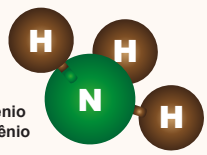
Irritante

Símbolo

NH_3

N = Nitrogênio
H = Hidrogênio

Molécula



Periculosidade

Muito tóxico

Levemente inflamável

Características

Incolor. Não é percebido pela visão.

Em concentrações não muito altas apresenta um cheiro irritante.

A densidade relativa ao ar é 0,6.

Fontes de emissão

É produzida por meios industriais e é utilizada em sistemas de refrigeração e na preparação de fertilizantes. Na industria alimentícia é muito usada nos sistemas de resfriamento. Na indústria petroquímica é usada como base para neutralizar ácidos provenientes do óleo cru e também é utilizada nos processos de extração mineral como os do cobre, do níquel e do molibdênio.

Sintomas do envenenamento

Em contato com umidade torna-se corrosiva. No caso de inalação pode provocar sonolência, vertigem, irritação no aparelho respiratório, sensação de queimaduras na garganta e sensação de constrição da laringe com dificuldade de respiração. Em contato com a pele causa queimaduras severas e irritação. Em contato com os olhos pode causar graves queimaduras.

Limite de tolerância

20 ppm (partes por milhão).

Para exposição em períodos de trabalho, que não podem ultrapassar 48 horas semanais.

Limites de inflamabilidade (risco de incêndio e explosão)

Entre 16% e 25% do volume de gases do ambiente.

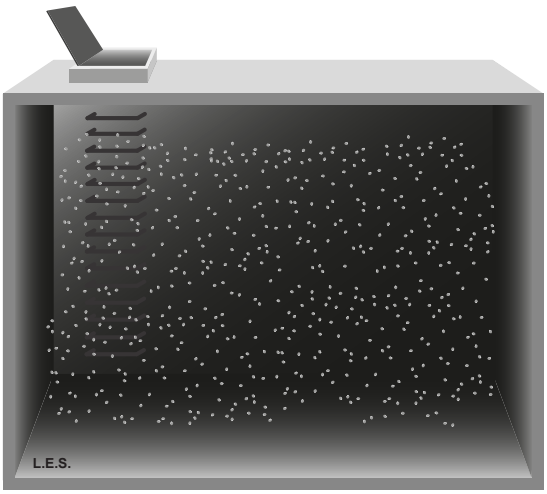
Entenda os limites superior e inferior de inflamabilidade no capítulo sobre química.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Particulados

Imagem de V.Ivash no Freepik

PARTICULADOS



Poeiras
Fibras
Fumos

Assim como os gases, as substâncias em forma de particulados podem ser encontradas em suspensão no ar, e podem contaminar perigosamente a atmosfera de um espaço confinado, com efeitos nocivos sobre o corpo humano.

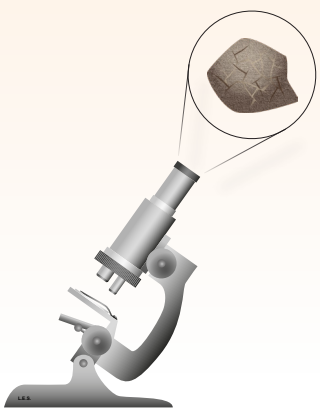
O que diferencia os chamados particulados em relação aos gases é que eles são formados por partículas sólidas. E as diferentes partículas sólidas são classificadas em poeiras, fibras e fumos.

Estas partículas podem ser formadas por material orgânico ou por material inorgânico. Por exemplo, a poeira proveniente do atrito no armazenamento de grãos (soja, milho etc.), bem como as fibras de algodão, são de origem orgânica.

Os fumos, provenientes de trabalhos de solda e oxicorte, são exemplos de particulados de origem inorgânica.

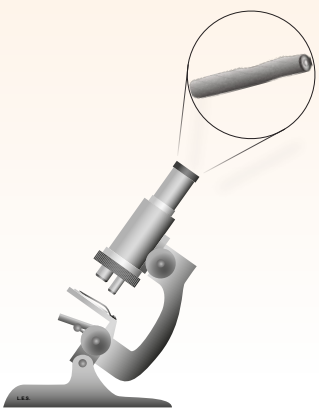
Poeiras

As chamadas poeiras são formadas por partículas criadas por ações mecânicas como abrasão (atrito), trituração, polimento, entre outros. Este tipo de partícula pode afetar a saúde de trabalhadores e tornar o ambiente potencialmente explosivo.



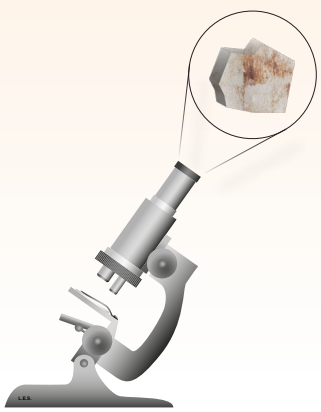
Fibras

As chamadas fibras podem ter as mesmas origens das partículas de poeira. No entanto, se diferem no formato. Para que a partícula seja classificada como fibra o seu formato deve apresentar um comprimento no mínimo três vezes maior que o seu diâmetro.



Fumos

Os chamados fumos também se constituem de partículas sólidas. A sua origem vem de processos em que metais passam do estado sólido ou líquido para o estado gasoso. Quando há a condensação desses vapores, formam-se as partículas sólidas que podem ser inaladas por trabalhadores.



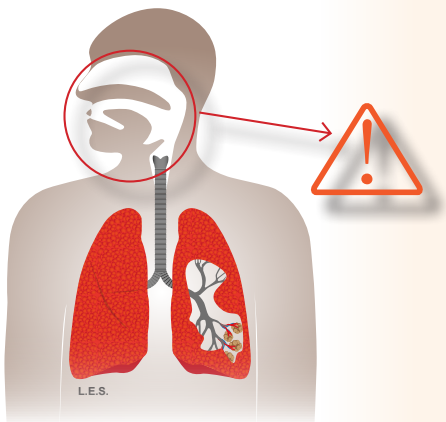
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PARTICULADOS

O tamanho da partícula determina o quanto ela pode penetrar no sistema respiratório.

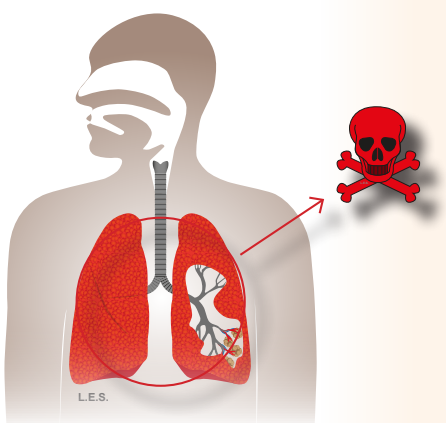
Inaláveis

O que define uma partícula como inalável é o seu tamanho, considerando que estamos tratando de medidas em mícrons (frações de milímetros). Este tipo de partícula é maior em relação às outras duas categorias. Por causa do seu tamanho, se uma pessoa a inalar, a maior parte ficará retida no sistema respiratório superior (boca, nariz, faringe e laringe). A retenção dessas partículas antes que cheguem aos pulmões é uma das formas de defesa do organismo humano.



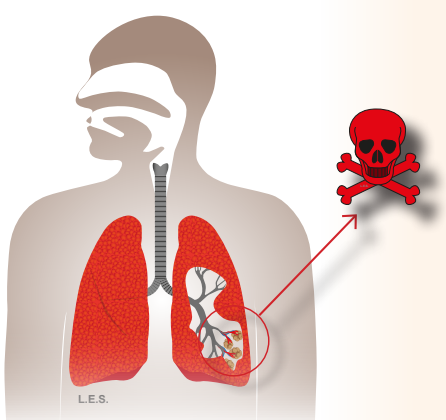
Torácicos

Os particulados classificados como torácicos são menores do que os inaláveis, e por causa do tamanho conseguem penetrar no sistema respiratório e chegar até os pulmões, afetando o processo de respiração.



Respiráveis

As partículas classificadas como respiráveis são ainda menores que as duas categorias anteriores, e por causa do tamanho conseguem penetrar no sistema respiratório muito mais profundamente, chegando aos alvéolos pulmonares, que é onde acontece a troca de gases do ar com a corrente sanguínea. Para esta condição o corpo humano não tem defesas e as complicações para a saúde de uma pessoa são muito mais severas.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Inflamabilidade e Explosividade

Imagem composta por:
SVstudioart no Freepik e
ilustação de Luiz Spinelli

INFLAMABILIDADE E EXPLOSIVIDADE

A inflamabilidade é uma característica. Ela é definida como a facilidade com que algo queima ou entra em ignição, causando a combustão. Um sólido, um líquido ou um gás podem entrar em combustão sem provocar uma explosão. Contudo, sob certas condições a explosão pode acontecer.

A explosão é um processo em que ocorre um aumento súbito de volume e uma grande liberação de energia, que provoca ondas de pressão que se espalham ao redor do local onde ela ocorreu. Pode gerar também altas temperaturas.

A norma técnica ABNT NBR IEC 60079 (atmosferas explosivas) define como atmosfera explosiva aquela apresenta, misturadas ao ar, substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou poeira e fibras, que são partículas combustíveis suspensas, que, após a ignição, possibilitam a autossustentação da propagação da chama.

Quando um local tem como característica o potencial de incêndio e/ou explosão, seja por produzir, armazenar ou operar substâncias inflamáveis, ele é definido como área classificada.

É importante salientar que áreas classificadas e espaços confinados não são a mesma coisa. Um espaço confinado não será, necessariamente, uma área classificada, assim como uma área classificada não envolverá somente ambientes fechados. Contudo, veremos neste manual que nas rotinas de trabalho em espaços confinados pode surgir o risco de incêndio e explosão mesmo em áreas não classificadas.

Áreas classificadas

As áreas são classificadas quando há a presença de substâncias combustíveis ou é esperado que elas estejam presentes. Além do combustível, muitas vezes não há como controlar a presença do comburente (oxigênio), portanto, para um incêndio e/ou explosão ocorrer basta a ignição (fonte de calor).

A ABNT NBR IEC 60079, que trata de Atmosferas Explosivas, recomenda duas medidas básicas para o controle de segurança, que são manter as substâncias combustíveis longe da fonte de ignição ou eliminar a fonte de ignição.

Como é comum locais de produção, armazenamento e operação de substâncias inflamáveis exigirem uma estrutura elétrica ou a presença de equipamentos eletrônicos, existem tecnologias padronizadas e certificadas para uso desses recursos nesses ambientes, com o intuito de impedir que atuem como fontes de ignição. Elas oferecem diferentes soluções de proteção, que impedem a deflagração de um incêndio ou uma explosão mesmo com uma falha de funcionamento.

O tema áreas classificadas é complexo, e como prova disso podemos considerar a vasta documentação a respeito. Além da literatura técnica especializada, podemos considerar que somente a NBR IEC 60079 é composta por aproximadamente 20 partes, e a complexidade desse assunto justifica existirem no mercado de trabalho profissionais especializados.

O intuito deste manual não é ensinar sobre áreas classificadas, mas é apropriado oferecer noções sobre o assunto, já que o risco de incêndio e explosão existe nas rotinas de trabalho em espaços confinados, mesmo em áreas não classificadas. Além disso, a exemplo dos detectores de gases, para os trabalhos em espaços confinados exige-se o emprego de tecnologias certificadas para áreas classificadas, mesmo que o ambiente não seja classificado.

INFLAMABILIDADE E EXPLOSIVIDADE

Uma área classificada não é apenas um rótulo, existe de fato uma classificação considerando o tipo de indústria e uma subdivisão por família de produtos. Veja a tabela abaixo:

GRUPO I
Atividade de mineração.
Em minas, onde prevalecem os gases da família do metano e pó de carvão.

GRUPO II
Indústrias de superfície
(Químicas, petroquímicas, farmacêuticas, etc).

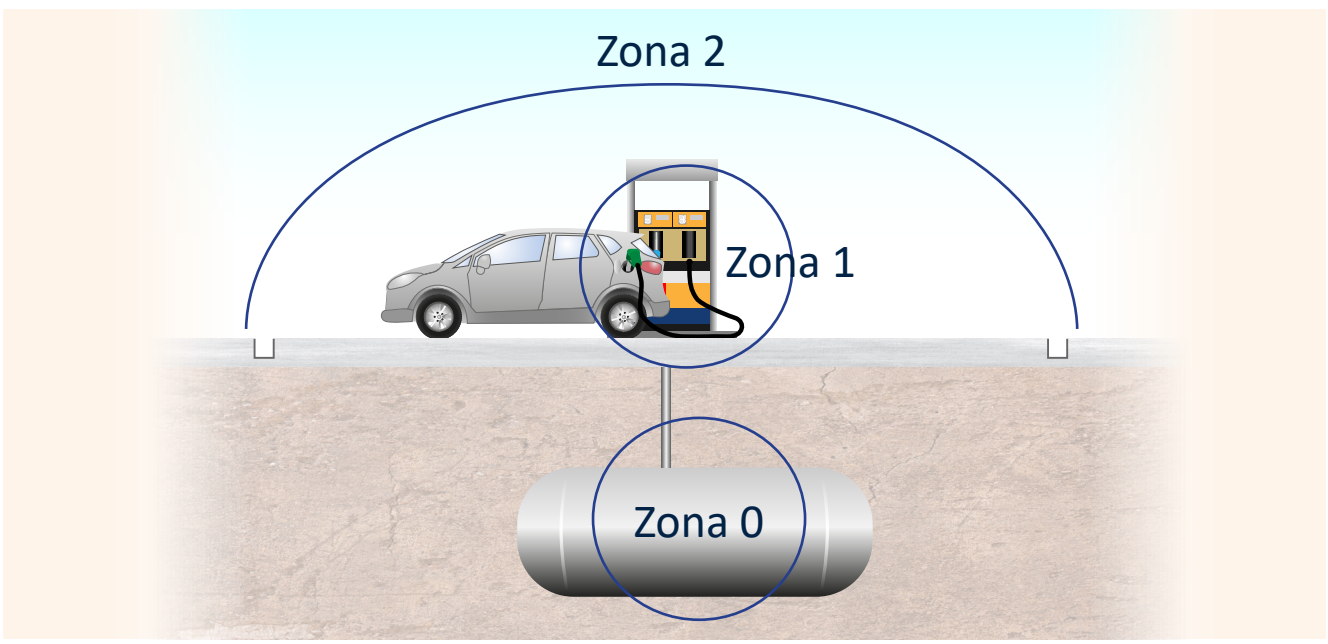
Esta classificação é importante para adequar a tecnologia e a eficiência das proteções elétricas ao tipo de contaminante. Por exemplo, cada família de contaminantes impõe uma temperatura máxima de operação a um equipamento.

GRUPO II A
Gases da família do propeno.

GRUPO II B
Gases da família do etileno.

GRUPO II C
Gases da família do hidrogênio
(incluindo o acetileno).

Zoneamento das áreas classificadas



Para gases e vapores, usa-se uma divisão de três faixas para estabelecer um zoneamento das áreas classificadas. A Zona 0 é a faixa onde a fonte de perigo é permanente, ou seja, a substância inflamável está sempre presente. A Zona 1 é a faixa onde o perigo se apresenta de forma intermitente, surgindo somente durante certas operações. A Zona 2 é uma faixa que estende a área de segurança. É uma zona onde a presença do contaminante não é esperada, mas existe como prevenção para uma situação inesperada, como por exemplo um vazamento acidental.

Para as poeiras combustíveis usa-se um zoneamento semelhante ao de gases e vapores, porém com uma codificação diferente, sendo designados como Zona 20, Zona 21 e Zona 22.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

INFLAMABILIDADE E EXPLOSIVIDADE

Equipamentos elétricos e eletrônicos para áreas classificadas

Em função da classificação das áreas e do zoneamento, haverá especificações para que o equipamento seja seguro em ambientes potencialmente inflamáveis e explosivos. Como já foi mencionado, o que o torna seguro é algum tipo de proteção que impeça de ser uma fonte de ignição, mesmo que esteja envolto por gases inflamáveis ou particulados potencialmente explosivos e que apresente alguma falha de funcionamento.

Existem diferentes soluções para tornar um equipamento elétrico ou eletrônico seguro. Soluções que são padronizadas por normas internacionais e que servem de base para os processos de certificação dos equipamentos. Para cada solução existe um código para a devida certificação. Veja a tabela abaixo:

Tipo de proteção	Símbolo
Equipamento à prova de explosão	Ex d
Equipamento pressurizado	Ex p
Equipamento imerso em óleo	Ex o
Equipamento imerso em areia	Ex q
Equipamento imerso em resina	Ex m
Equipamento de segurança aumentada	Ex e
Equipamento não acendível	Ex n
Equipamento de segurança intrínseca	Ex i
Equipamento especial	Ex s

Fonte: Monografia de Lucio Rodrigues Neto e Luiz Felipe de Oliveira Soares.
Instalações Elétricas em Áreas Classificadas - 2010.
Universidade Federal do Rio de Janeiro.
Fonte referência: ABNT

Ex

Símbolo para equipamentos certificados Ex.

Ex

O detectores de gás são certificados pela categoria

Ex i

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

INFLAMABILIDADE E EXPLOSIVIDADE

E quando a área não é classificada, mas o perigo surge?

Áreas não classificadas
podem se tornar perigosas.

Quando uma área é classificada, ela será projetada ou adaptada para ser segura. Equipamentos adequados serão selecionados e procedimentos serão estabelecidos para que o lugar e a rotina de trabalho sejam seguros. Trata-se de um local onde os riscos de incêndio e de explosão são conhecidos. É diferente quando tratamos das rotinas de trabalho em espaços confinados, pois eles podem não ser áreas classificadas, embora o risco de incêndio ou de explosão possa surgir eventualmente ou inesperadamente.

Uma área não classificada, por não haver, originalmente, material inflamável presente, pode se tornar perigosa pelo tipo de tarefa que será realizado dentro dela. Um trabalho de manutenção, por exemplo, pode exigir o uso de substâncias químicas inflamáveis. Além desse exemplo, há casos reais de ambientes confinados que se tornaram perigosos por infiltrações de produtos inflamáveis de maneira acidental e inesperada.

Um exemplo de uma área não classificada que pode se tornar potencialmente inflamável e/ou explosiva é uma galeria de cabos. Esse ambiente é um espaço projetado como percurso para cabos elétricos, portanto, não há armazenagem ou operações com produtos inflamáveis, até que uma equipe de trabalho entre na galeria para realizar uma manutenção. É comum o uso de álcool isopropílico (que não tem água na composição química) para a limpeza dos cabos. O álcool, ao evaporar, pode contaminar a atmosfera da galeria e torná-la inflamável.

Então, há ambientes originalmente não classificados que podem se tornar perigosos. E o que fazer então?

Devemos lembrar que o procedimento padrão e obrigatório para os trabalhos em espaços confinados inclui a avaliação prévia e o monitoramento contínuo da atmosfera. Será graças a esse procedimento que uma eventual e inesperada contaminação da atmosfera será percebida, mesmo sem o conhecimento da causa.

A NR 33 obriga a autorização formal para o acesso aos espaços confinados através de um documento padronizado chamado de permissão de entrada e trabalho (PET). Essa PET é o registro de uma análise de riscos e das medidas de controle que devem ser adotadas. Mas antes desses protocolos imediatos, as organizações comprometidas com a segurança no trabalho devem realizar previamente o levantamento de perigos e riscos, e com base neles um plano de ação (NR 1).

Diante de uma tarefa inédita, para a qual nenhum levantamento antecipado exista, a análise de riscos é imprescindível, cujo resultado será registrado na PET. Será essa análise, quando feita de forma cuidadosa, que apontará o risco de incêndio e explosão num ambiente que originalmente era seguro, mas cujos perigos serão criados pelo trabalho a ser realizado.

Diante de uma condição potencialmente perigosa, um conjunto de medidas deverão ser adotadas, começando pela ventilação adequadamente planejada para evitar que gases e vapores inflamáveis e poeiras explosivas se acumulem na atmosfera do espaço confinado. O monitoramento de gases deverá ser mantido em tempo integral e medidas complementares deverão ser consideradas como, por exemplo, o uso de equipamentos elétricos e eletrônicos certificados para áreas classificadas, o uso de ferramentas não faiscantes, meios de controle de energia estática e outras formas de eliminar potenciais fontes de ignição.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Poeiras combustíveis

Imagem de Freepik

POEIRAS COMBUSTÍVEIS

As poeiras explosivas ou poeiras combustíveis, como são denominadas pela OSHA (Administração de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos) são definidas como um material sólido composto por partículas de diferentes formas, composições químicas e tamanhos.

As poeiras combustíveis são comumente orgânicas ou metálicas, finamente moídas em partículas muito pequenas, fibras muito finas, pedaços, flocos ou uma mistura destes.

Na definição de poeiras combustíveis usa-se como parâmetro de tamanho um diâmetro inferior de 420 mícrons (aquelas que passam por uma peneira padrão US nº 40). No entanto, partículas maiores podem representar risco, pois quando são movimentadas podem causar abrasão umas com as outras e criar partículas menores. Pequenas partículas podem se aglomerar devido às cargas eletrostáticas acumuladas durante o manuseio, e quando dispersadas tornam-se perigosas.

Há uma variedade grande de tipos de poeiras e de processos que podem cria-las. Abaixo está uma tabela com diferentes poeiras, cuja fonte é o poster da OSHA intitulado Poeira Combustível.

Poeiras Agrícolas

Alfafa;
Maçã;
Beterraba;
Carragenina;
Cenoura;
Pó de cacau;
Pó de casca de coco;
Pó de café;
Fubá;
Amido de milho;
Algodão;
Semente de algodão;
Pó de alho;
Glúten;
Pó de grama;
Café verde;
Lúpulo (maltado);
Pó de casca de limão;
Polpa de limão;
Linhaça;
Goma de alfarroba;
Malte;
Farinha de aveia;
Pó de aveia;
Pellets de azeitona;
Pó de cebola;
Salsa (desidratada);
Pêssego;
Farinha e casca de amendoim;
Turfa;
Batata;
Farinha de batata;
Amido de batata;
Pó de arroz;
Farinha de arroz;
Amido de arroz;
Farinha de centeio;
Semolina;
Pó de soja;
Pó de especiarias;
Açúcar (10x);
Girassol;
Pó de semente de girassol;
Chá;
Mistura de tabaco;
Tomate;
Pó de noz;
Farinha de trigo;
Pó de grão de trigo;
Amido de trigo;
Goma xantana.

Poeiras Carbonáceas

Carvão ativado;
Carvão, madeira;
Carvão betuminoso;
Coque, petróleo;
Lampblack;
Lignite;
Turfa, 22%H20;
Fuligem, pinho;
Celulose;
Polpa de celulose;
Cortiça;
Milho.

Poeiras Químicas

Ácido adípico;
Antraquinona;
Ácido ascórbico;
Acetato de cálcio;
Estearato de cálcio;
Carboximetilcelulose;
Dextrina;
Lactose;
Estearato de chumbo;
Metilcelulose;
Paraformaldeído;
Ascorbato de sódio;
Estearato de sódio;
Enxofre.

Poeiras Metálicas

Alumínio;
Bronze;
Carbonila de ferro;
Magnésio;
Zinco.

Pós de plástico

Acrilamida (poli);
Acrilonitrila (poli);
Etileno (poli) - processo de baixa pressão;
Resina epóxi;
Resina melamínica;
Melamina moldada (fenolcelulose);
Melamina moldada (farinha de madeira e fenol-formaldeído com enchimento mineral);
Acrilato de metila (poli);
Acrilato de metila, polímero de emulsão;
Resina fenólica;
Propileno (poli);
Resina terpeno-fenol;
Ureia-formaldeído/ celulose moldada;
Acetato de vinil/copolímero de etileno (poli);
Álcool vinílico (poli);
Vinil butiral (poli);
Copolímero de emulsão de cloreto de vinil (poli);
Vinil acetileno.

Combustible Dust
Does your company or firm process any of these products or materials in powdered form?
If your company or firm processes any of these products or materials, there is potential for a "Combustible Dust" explosion.
OSHA Occupational Safety and Health Administration U.S. Department of Labor

www.osha.gov/sites/default/files/publications/combustibledustposter.pdf

POEIRAS COMBUSTÍVEIS

O risco de explosões por poeiras combustíveis

As poeiras explosivas, quando em suspensão e misturas ao ar, oferecem o risco de explosão, com potencial para causar catástrofes envolvendo perdas de vida, vítimas com ferimentos muito graves e destruição de patrimônio.

Um artigo da OSHA intitulado "Orientação de comunicação de perigo para Poeiras Combustíveis", datado de 2009, relata que nos Estados Unidos entre os anos 1980 e 2005 ocorreram 281 acidentes com poeiras combustíveis, levando à morte 119 trabalhadores, ferindo 718 pessoas e danificando extensamente várias instalações industriais. Esse mesmo artigo relata uma explosão numa refinaria de açúcar, seguida de incêndio, na cidade de *Port Wentworth*, no estado americano da Geórgia, no ano de 2008, que causou 18 mortes e muitos feridos.

No Brasil, em julho de 2023, nas instalações de uma cooperativa no interior do Paraná, ocorreu uma explosão numa galeria de transporte de grãos, causando destruição, matando 10 trabalhadores e ferindo outros 10. A investigação do Ministério do Trabalho apontou como causa da explosão o acúmulo de poeira e algum tipo de ignição.

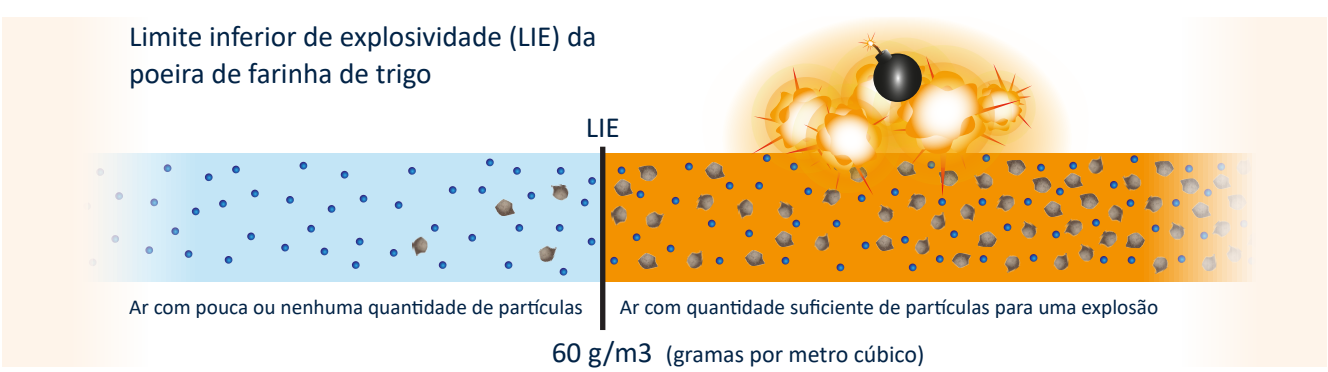
Fatores que geram a explosão de poeiras combustíveis

A explosão de poeiras combustíveis vai ser gerada pela presença de partículas em suspensão, misturadas ao ar ambiente e deflagrada por uma fonte de ignição, sob certas condições. Isso significa que, em se tratando de poeiras o "triângulo do fogo" não é suficiente, exigindo outros fatores para que a explosão ocorra.

São cinco fatores que precisam se unir para que a explosão de poeiras combustíveis aconteça. Os três primeiros têm a ver com o "triângulo do fogo" (combustível, comburente e calor), mas para poeiras combustíveis outros dois fatores devem estar presentes.

O quarto fator é a dispersão de partículas no ar, ou seja, uma nuvem de poeira precisa existir, e na quantidade suficiente. Assim como os gases, poeiras combustíveis também precisam estar presentes na proporção certa para que a explosão ocorra. Para as poeiras também existem os limites de explosividade, que determinam a proporção necessária de combustível e ar para que a combustão tenha início e se mantenha.

Podemos usar como exemplo um artigo da Universidade Eslovaca de Tecnologia em Bratislava, de 2017, que compartilha o resultado de pesquisas sobre a explosividade da poeira de farinha de trigo. Essa pesquisa apontou o valor de 60 g/m³ (gramas por metro cúbico) para o limite inferior de explosividade desse tipo de partícula. Essa pesquisa também mediu as pressões geradas por explosões com diferentes quantidades de partículas de farinha de trigo. A explosão com maior pressão aconteceu com 600 g/m³, alcançando 8,31 bar.



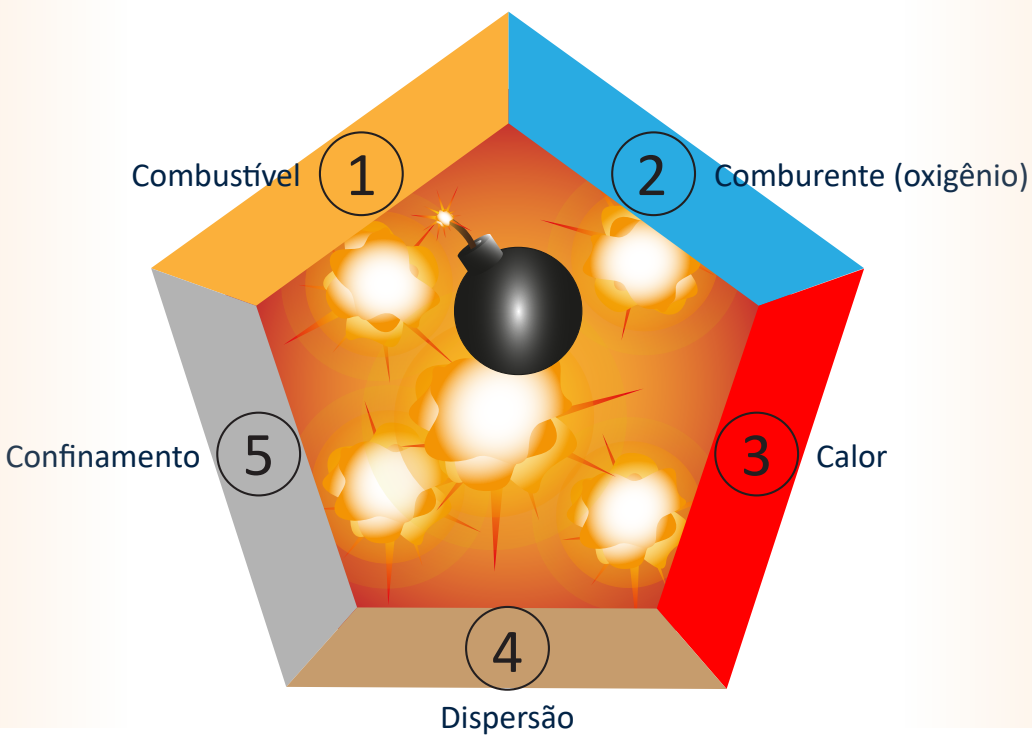
Observação: assim como os gases, os diferentes tipos de poeiras apresentam valores próprios para os limites de explosividade.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

POEIRAS COMBUSTÍVEIS

O quinto fator é o confinamento da nuvem de poeira. A explosão é uma reação rápida, gerando a expansão dos gases e o aumento da pressão dentro do local onde ela ocorre. As paredes do lugar onde acontece a explosão vão exercer uma resistência contrária a essa expansão, provocando uma sobrepressão (pressão excessiva).

Fatores para a explosão de poeiras combustíveis



A explosão inicial (primária) pode dispersar a poeira assentada e gerar uma explosão secundária. Além disso, a sobrepressão pode destruir e romper o lugar onde ela ocorreu, como um duto, um vaso, um silo ou alguma outra estrutura de contenção. Ao encontrar o ambiente externo, com mais oferta de oxigênio e maior dispersão das partículas, o processo se intensifica, e essas explosões secundárias podem ser ainda mais destrutivas que a primária. Talvez por isso exista a crença de que explosões de poeiras combustíveis podem ser mais potentes do que as de gás.

Além dos cinco fatores apresentados, a facilidade para a ignição e a intensidade da explosão são influenciadas pelo tamanho das partículas, pelo grau de umidade delas e pela umidade do ambiente.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

POEIRAS COMBUSTÍVEIS

Considerações

Esse assunto é mais um de uma coleção de temas complicados no cenário nacional.

Para que o desafio seja compreendido, vamos tomar como referência o risco de explosão com gases. Como se controla esse risco? Primeiro, o problema deve ser identificado, e ele pode existir até onde menos se espera. A partir do momento em que o problema é identificado, uma série de medidas devem ser adotadas. A primeira e mais óbvia é o uso da ventilação para a renovação da atmosfera do espaço confinado. Não basta apenas ventilar. Considerando um procedimento inicial, para a liberação do acesso dos trabalhadores ao espaço confinado, é preciso avaliar a eficiência da ventilação durante o processo e ao final dele. Essa avaliação é feita normalmente com um sensor catalítico ou um sensor de infravermelho para detectar e mediar a inflamabilidade/explosividade da atmosfera. Esses mesmos sensores devem ser usados para monitorar a eficiência da ventilação em manter as boas condições atmosféricas durante a permanência dos trabalhadores dentro do espaço, principalmente se houver uma fonte liberando gases ou vapores inflamáveis.

Não há EPI que proteja de explosões, por isso não se pode permitir a presença de trabalhadores num espaço em que exista o risco de incêndio ou explosão. Por isso deve-se proibir a entrada dos trabalhadores ou suspender os trabalhos e proceder à retirada das pessoas sempre que a medição alcançar ou ultrapassar 10% do limite inferior de explosividade.

Além do controle da concentração de inflamáveis no ar, como uma medida redundante deve-se também evitar possíveis fontes de ignição, utilizando, por exemplo, equipamentos eletrônicos certificados para áreas classificadas, ferramentas antifaiscantes, entre outros.

Nesse ponto chegamos ao cerne da questão: o que fazer com o risco de explosão em virtude da presença de poeiras combustíveis?

Quando um espaço é classificado, a solução para o risco de explosão inclui a avaliação qualitativa, que implica identificar o tipo de poeira e uma possível combinação de substâncias no local, bem como quantificar a dispersão da poeira no ar daquele espaço, cujos dados são obtidos com laudos de laboratório.

Uma vez que as poeiras foram qualificadas e quantificadas, bem como uma possível combinação de substâncias, pode-se fazer uma classificação apropriada do ambiente. Com essa classificação pode-se projetar as instalações elétricas e determinar os procedimentos operacionais para esse tipo de ambiente. Mas, e se o espaço não for classificado e o risco se fizer presente, como por exemplo, nos trabalhos eventuais de manutenção em um espaço não classificado? É aí que reside o desafio.

Para poeiras combustíveis, não há uma tecnologia similar aos sensores de gás. Não há um explosímetro para poeiras. Então, não há como proceder da mesma maneira que se procederia com os gases. Assim, o primeiro passo lógico, que é identificar o problema, não é tão fácil e simples com as poeiras.

Uma alternativa para avaliar a explosividade de uma atmosfera com poeiras combustíveis em suspensão é usar um contador de partículas. Se a composição da poeira é conhecida, conhece-se também o seu limite inferior de explosividade, ou seja, a quantidade necessária de partículas misturadas ao ar capaz gerar uma explosão. Mas o problema maior no mercado brasileiro é a falta de oferta de um equipamento adequado para isso.

Para a qualificação e a quantificação de partículas no Brasil, o segmento que movimenta o mercado é a higiene ocupacional, e não a segurança do trabalho. O propósito das análises é avaliar os possíveis danos a saúde do

POEIRAS COMBUSTÍVEIS

trabalhador, e não o risco de explosões. Por isso o método mais comum para esse tipo de avaliação é a coleta de amostras, o envio delas para um laboratório e o resultado na forma de um laudo. Obviamente, que esse método não atende às rotinas em espaços confinados, cuja avaliação e monitoramento precisam acontecer em tempo real.

Existem fornecedores no Brasil de tecnologias para a detecção e contagem de poeiras em tempo real, mas estas normalmente são projetadas para salas limpas, em que a concentração esperada de partículas é mínima, não oferecendo a capacidade de medir concentrações maiores, como as que podem tornar um ambiente potencialmente explosivo.

Existe no nosso país tecnologia de contagem de partículas para áreas classificadas, que é instalada de forma fixa, atuando para monitorar de forma constante a concentração de partículas no ar. Mas não são equipamentos portáteis, não oferecem uma leitura direta, já que tem que ser conectados a um terminal. Ou seja, não funcionam como um detector portátil de gases e não atendem aos trabalhos eventuais e em locais diferentes.

Obviamente, existem orientações de segurança para se evitar a explosão de atmosferas com poeiras combustíveis, mas que oferecem uma margem de insegurança.

O primeiro procedimento é evitar o acúmulo de poeira em um ambiente, realizando uma limpeza constante e/ou utilizando meios como sistemas de exaustão para a captura de particulados.

O segundo passo é evitar potenciais fontes de ignição. Isso envolve evitar trabalhos a quente, envolve a instalação de equipamentos elétricos certificados para áreas classificadas, a rigorosa manutenção de equipamentos para evitar que falhas gerem calor, a instalação de um sistema de aterramento adequado, entre outras medidas.

A limpeza de ambientes com poeiras deve ser feita com cuidado para não as dispersar, priorizando, por exemplo, o uso de aspiradores de pó ou invés de vassouras. Para evitar a fácil dispersão das poeiras é aconselhável manter a umidade do ar em 50% ou mais.

O problema dessa lista de medidas de controle é que elas atendem satisfatoriamente a uma área classificada, mas podemos considerar parcialmente inviáveis para situações eventuais, em ambientes diferentes e áreas não classificadas. Para trabalhos em espaços confinados a avaliação e o monitoramento precisam ser feitos em tempo real. Mesmo que medidas como a ventilação sejam adotadas, há a necessidade avaliar a eficiência delas, além de se manter um monitoramento contínuo do espaço enquanto trabalhadores estiverem presentes.

Alguns profissionais entendem que para poeiras combustíveis, basta controlar potenciais fontes de ignição. No entanto, isso não basta para ambientes contaminados com gases inflamáveis. Devemos relembrar que as regras para espaços confinados determinam a proibição da entrada ou a retirada de todos os trabalhadores quando o limite de explosividade alcançar os 10% do LIE. Por que seria diferente para as poeiras combustíveis?

O grande problema para os trabalhos em espaços confinados que envolvam poeiras combustíveis, e que não são áreas classificadas, é a falta de um meio tecnológico para detectar e monitorar os limites de explosividade em tempo real.

HOVERTEX
PROTEÇÃO PARA TRABALHOS EM ALTURA

Sistemas de Ancoragem para NR-33 - Espaço Confinado

DAVIT

POÇOS

TRILHO

TANQUES

LINHA DE VIDA

FORRO

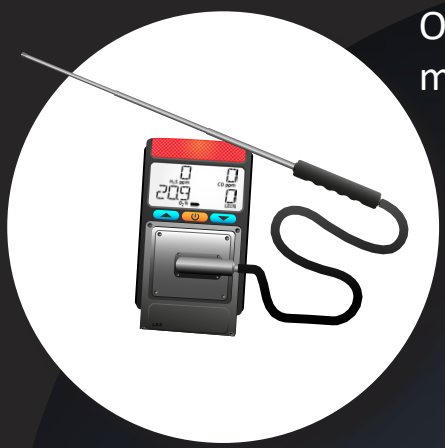
SISTEMA

ANCORAGEM

(11) 5058-5747
WWW.HOVERTEX.COM.BR
HOVERTEX@HOVERTEX.COM.BR

sodexo
Braskem
VALE
SCANIA
itaú
COLGATE-PALMOLIVE
ULTRA

Nos capítulos seguintes serão abordadas as medidas de controle para os riscos atmosféricos.



O primeiro procedimento é avaliar a atmosfera, e manter o monitoramento constante.

Se necessário, o segundo procedimento será promover a renovação do ar e usar a ventilação para manter a atmosfera saudável.

Se a ventilação não for suficiente ou não for viável, a proteção respiratória deve ser adotada.

Capítulo 4

Avaliação atmosférica

Detecção de gases

DETECÇÃO DE GASES

Uma atmosfera segura num ambiente de trabalho é aquela que oferece a composição natural do ar, com os volumes normais de nitrogênio, oxigênio e uma dúzia de outros gases em quantidades muito pequenas. Além disso, um ar saudável não pode conter gases exóticos, nem gases comuns em quantidades que venham a competir com o oxigênio ou que sejam tóxicos para o ser humano.

Particulados como poeiras também não devem estar presentes em quantidades que possam afetar a saúde dos trabalhadores, ou poeiras combustíveis que possam tornar o ambiente potencialmente explosivo.

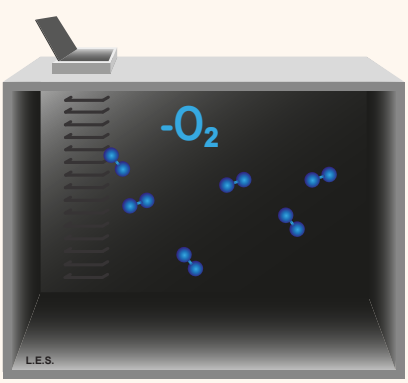
Porém, em ambientes de trabalho, especialmente em espaços confinados, não é incomum haver alterações da atmosfera, seja pela redução do oxigênio ou pela presença de outros gases em volumes perigosos. Aí surge a necessidade de avaliar e controlar a qualidade do ar nesses ambientes.

Essas alterações podem acontecer pela mera presença de pessoas respirando dentro de um espaço confinado, consumindo o oxigênio e liberando o dióxido de carbono (gás carbônico), quando não houver um meio natural ou artificial de renovação da atmosfera. As tarefas realizadas nesses ambientes podem criar os perigos, por usarem fontes de calor ou substâncias químicas nocivas a saúde dos trabalhadores.

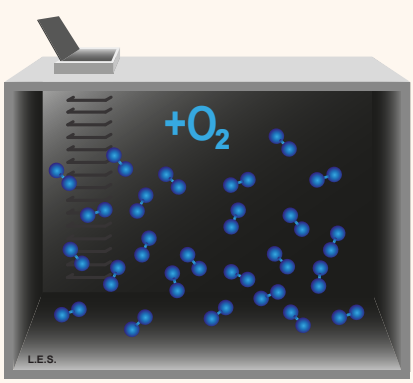
Os procedimentos de segurança devem começar pela avaliação da atmosfera do local de trabalho, e essa avaliação normalmente é feita com equipamentos eletrônicos que dispõem de sensores para a detecção e a quantificação de gases, começando pelo oxigênio. Se essa avaliação detectar alterações na atmosfera do local de trabalho, outros procedimentos de correção e/ou controle deverão ser adotados a fim de garantir a segurança dos trabalhadores.

Potenciais riscos na atmosfera de um ambiente de trabalho

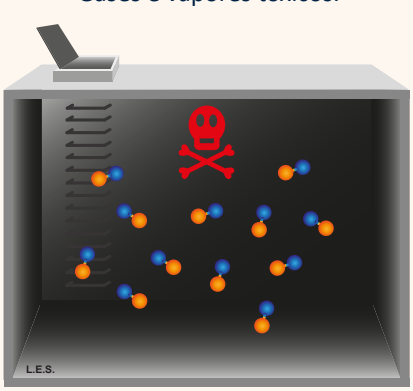
Insuficiência de Oxigênio.



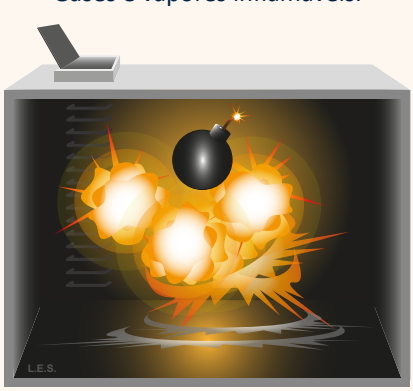
Excesso de Oxigênio.



Gases e vapores tóxicos.



Gases e vapores inflamáveis.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

DETECÇÃO DE GASES

Como detectar?

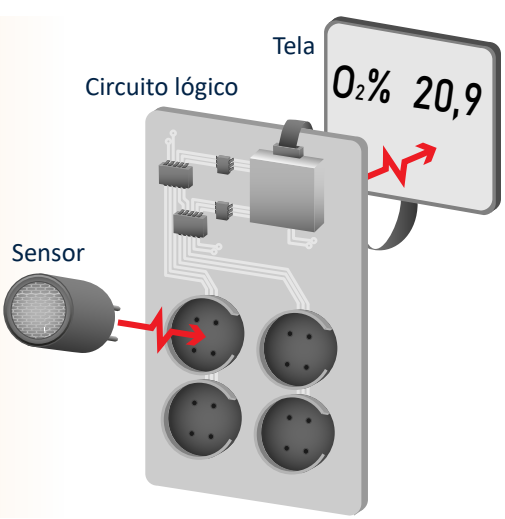
Muitas das fontes de perigo que podem estar presentes nas atmosferas dos ambientes de trabalho não tem cor, não tem cheiro e não podem ser percebidas pelo tato ou pelo paladar. Portanto, podemos classificá-las como "inimigos invisíveis". Este fato costuma levar a óbito muitos trabalhadores, e muitas vezes vitimando pessoas em sequência, levando um trabalhador após o outro a entrar em ambientes mortais tentando ajudar as primeiras vítimas.

Se são imperceptíveis aos sentidos humanos, o que fazer? A ilustração abaixo é uma forma bem-humorada de representar um meio antigo de detecção de gases.

No passado, mineradores usavam pássaros para tentar detectar perigos na atmosfera.

No passado mineradores usavam a presença de aves para indicar perigos no ar ambiente. Mas, além de cruel com o pobre animal, pode gerar uma falsa sensação de segurança, já que os pássaros podem ser mais resistentes que os seres humanos à exposição a certos gases. Mas então, se os passarinhos não são a solução, como resolver?

A solução mais empregada na atualidade é a eletrônica. Aparelhos que possuem um ou mais sensores específicos para reagirem à presença de um determinado gás, cuja reação é interpretada por um circuito lógico que produz uma informação em tela.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

DETECÇÃO DE GASES

Imagem
MSA Brasil

Imagem Industrial Scientific

Imagem
Dräger

Exemplos de detectores eletrônicos multigás portáteis.

Imagem
MSA Brasil

Exemplo de detector eletrônico de instalação fixa.

Para certos gases ou para certas condições, a alternativa viável são os reagentes químicos, chamados de tubos colorimétricos ou tubos reagentes. Eles são ampolas lacradas que contém no seu interior reagentes químicos que são reativos a uma substância específica. Além de indicarem a presença da substância, a intensidade da reação indica a quantidade do que está sendo avaliado. Permitem a sua identificação e a quantificação.

Os tubos colorimétricos continuam sendo necessários, mas para os gases e as situações mais comuns a alternativa mais utilizada é a dos equipamentos eletrônicos.

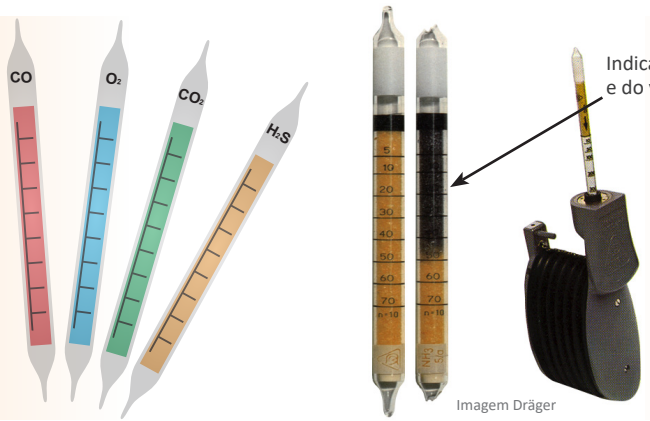


Imagem Dräger

Reagentes químicos ou tubos colorimétricos.

Sensores

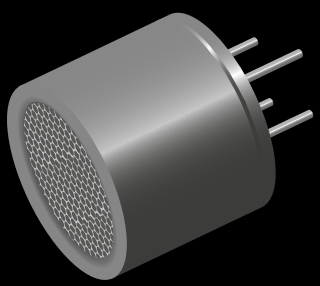


Imagem de Freepik

SENSORES

Imagens da Industrial Scientific

Embora haja os monitores fixos de gases, o foco deste manual será os modelos portáteis. Entre esses portáteis, o mais comum é o chamado multigás. Ele recebe essa denominação porque é capaz de detectar vários gases simultaneamente. O modelo mais popular entre os multigases é o de quatro gases. A composição mais comum de sensores para esses modelos inclui o oxigênio (O_2), o monóxido de carbono (CO), o gás sulfídrico (H_2S) e gases inflamáveis.

Aumentou a oferta no mercado brasileiro de detectores para um número maior de gases, capazes de monitorar de seis a sete gases diferentes. Em alguns modelos esse incremento foi possível graças a novas tecnologias que permitem que um mesmo sensor consiga detectar mais de um gás simultaneamente. Isso garante uma maior abrangência na avaliação atmosférica sem renunciar ao tamanho compacto dos aparelhos.

Mesmo com as inovações tecnológicas, os sensores existem para detectar e quantificar gases específicos, portanto, a seleção adequada dos sensores depende dos gases identificados numa planta industrial. Sem esse conhecimento, o uso de um detector multigas de, por exemplo, sete gases, pode dar um falso resultado de segurança, se a fonte de perigo for um outro gás para o qual o detector não possua sensor.

Dispor de um sensor de oxigênio (O_2) é básico e essencial, mas não se pode abrir mão dos sensores para gases tóxicos ou do sensor para gases inflamáveis em ambientes onde tais riscos existem, mesmo que apenas potenciais. Acreditar que apenas o sensor de oxigênio para avaliar uma atmosfera é suficiente, com a crença equivocada de que a existência de um gás perigoso vai alterar o volume de oxigênio, é temerário. Muitas vezes, bastam concentrações muito pequenas de certos gases para que se tornem tóxicos aos seres humanos ou tornem uma atmosfera potencialmente inflamável e explosiva, tão pequenas que não vão alterar o volume de oxigênio.

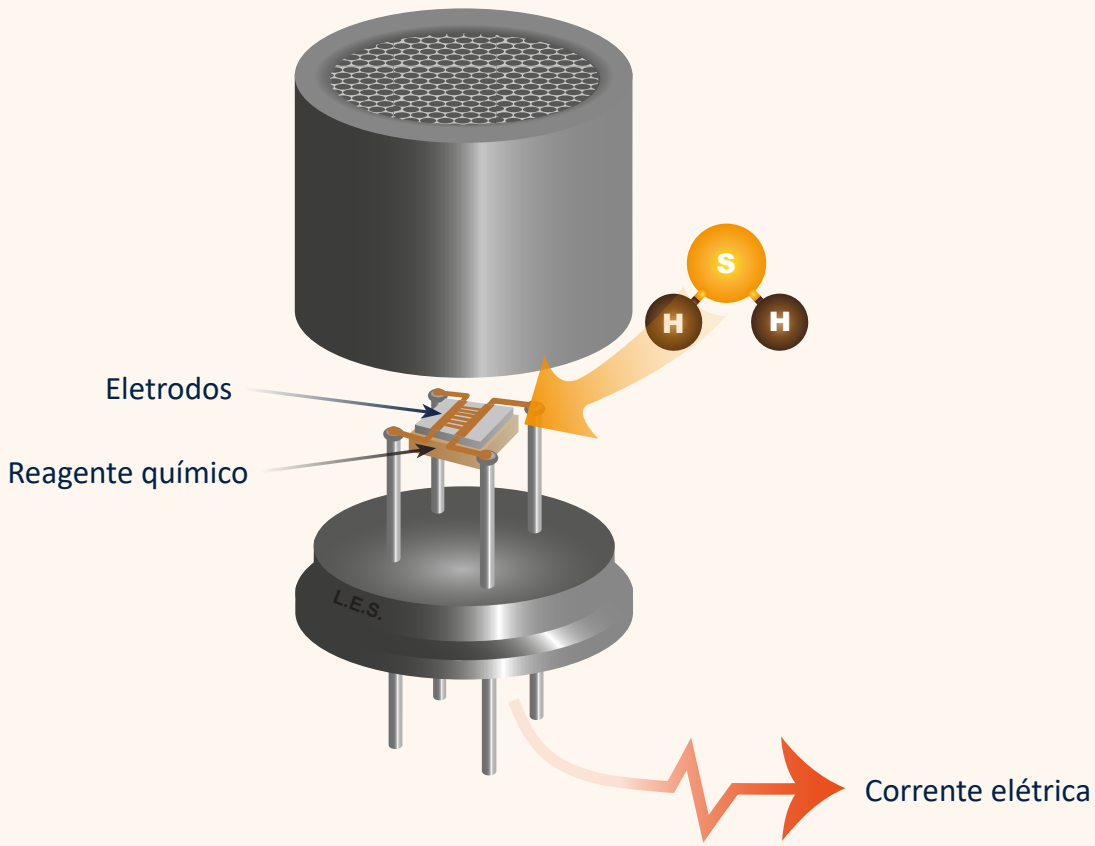
Existem diferentes substâncias que podem ser classificadas como inflamáveis ou tóxicas, e a eficiência na detecção desses gases depende da tecnologia empregada. Por exemplo, os modelos normalmente usados para medir o monóxido de carbono (CO) são com sensores eletroquímicos, mas para medir o dióxido de carbono (CO_2) a tecnologia recomendada é a do sensor de infravermelho.

O conhecimento sobre tais tecnologias auxilia na escolha adequada dos sensores para os tipos de gases que se pretende detectar e auxilia também no uso eficiente e na preservação dos sensores de riscos contra os quais eles possam ser frágeis.

Nas páginas a seguir serão abordadas as principais tecnologias de sensores, considerando as suas aplicações, as suas vantagens e as suas desvantagens.

Sensores eletroquímicos

Para oxigênio e gases tóxicos



O sensor eletroquímico se constitui, basicamente, de um conjunto de eletrodos (polos condutores de corrente elétrica) colocados sobre um reagente químico (eletrólito) que pode ser líquido, sólido ou gelatinoso. Essa substância, ao entrar em contato com o gás que se pretende detectar, reage quimicamente, e essa reação altera a corrente elétrica. A variação dessa corrente é interpretada por um circuito lógico (placa eletrônica), que por sua vez gera os sinais para uma tela eletrônica indicando o valor, e acionando os alarmes visual e sonoro caso a medição ultrapasse os valores limites.

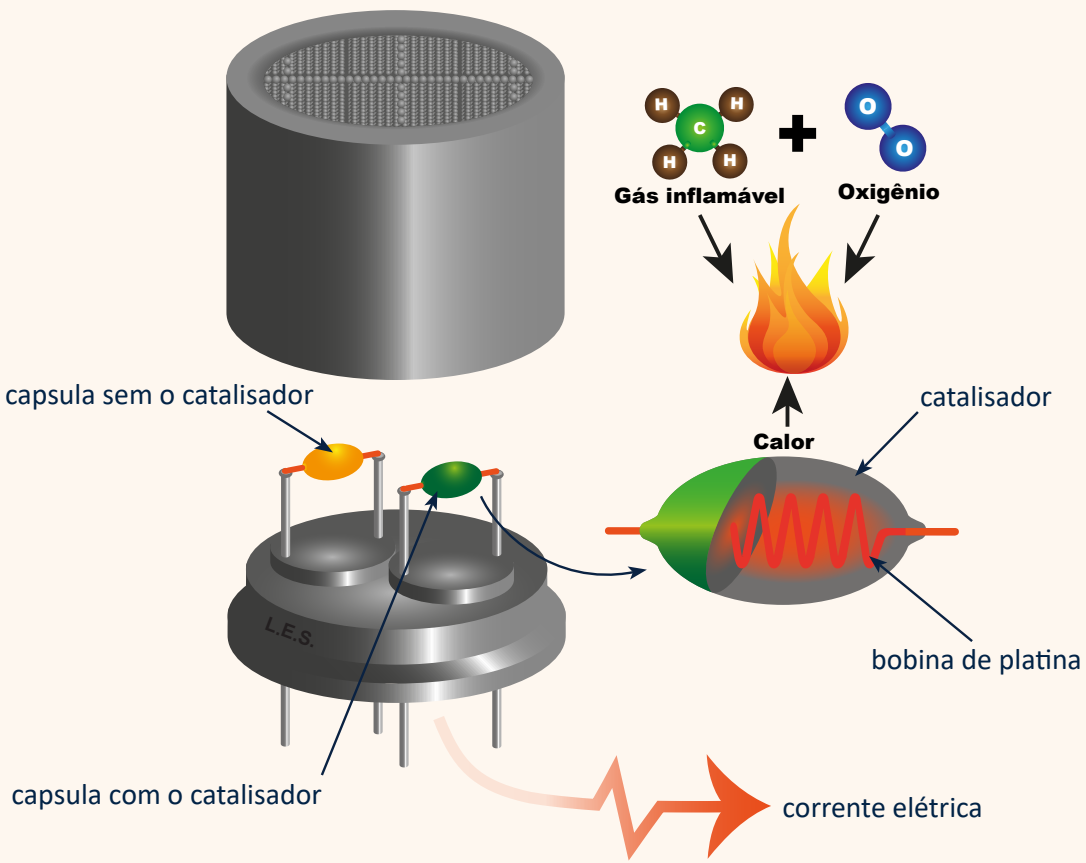
A pequena parte do reagente químico que teve contato com o gás se transformará após a reação química e não funcionará mais como detector. Por isso, quanto mais contato o sensor tiver com os gases para o qual foi projetado a reagir, mais rapidamente se esgotará a sua vida útil. Até mesmo o teste de resposta (*bump test*), que veremos em um capítulo próprio, consome o reagente.

Existem novas tecnologias de sensores que preservam o reagente, ou seja, consomem pouco ou nada do eletrólito, desde que a concentração do gás esteja dentro de certos limites. Por exemplo, existem sensores que não consomem o reagente quando submetidos ao teste de resposta (*bum test*).

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Sensores catalíticos

Para gases inflamáveis



Os sensores catalíticos recebem esse nome por utilizarem um catalisador, que é uma substância que tem a capacidade de acelerar uma reação química sem alterar a composição química dos seus reagentes e produtos.

Essa tecnologia de sensores é composta por duas bobinas de platina instaladas dentro de cápsulas porosas feitas de alumina (óxido de alumínio). Um desses invólucros é coberto pelo catalisador. A outra cápsula não possui o catalisador e é inerte.

Os filamentos de platina dentro das cápsulas aquecem por causa de uma corrente elétrica, gerando temperaturas entre 450°C e 550°C.

Na bobina envolvida pelo catalisador haverá a queima do gás inflamável presente na atmosfera, mesmo que em pequenas concentrações. O gás entra em combustão e aumenta a temperatura. A diferença de temperatura entre as duas bobinas (com e sem o catalisador) gera uma alteração no circuito elétrico (diferença de potencial) que é interpretada pelo circuito lógico.

Quanto mais gás, maior será o calor, e maiores serão as alterações elétricas. Dessa forma o sensor pode quantificar o volume de gases inflamáveis presentes no ambiente.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Sensores catalíticos

Para gases inflamáveis

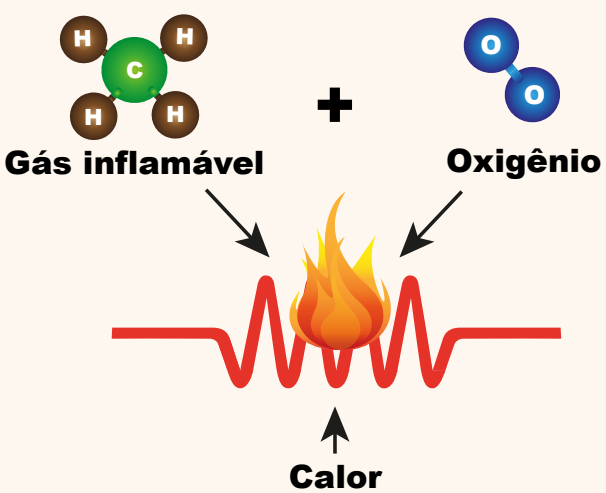
Naturalmente surge uma questão: se o sensor existe para incendiar os gases inflamáveis, ele não coloca em risco a segurança dos trabalhadores? A resposta é não.

O interior dos sensores catalíticos é construído para oferecer uma proteção classificada como à prova de explosão (Ex-d), o que significa que ele não permite que o calor gerado em seu interior saia para o ambiente externo.

Esse sensor precisa de oxigênio (O_2) para funcionar.

Para que esse tipo de sensor funcione é necessário que exista mais de 10% de volume de oxigênio no ambiente, sendo que o valor mínimo exato deve ser informado pelo fabricante do sensor/detector.

Não havendo oxigênio suficiente na atmosfera testada, não haverá combustão (reação) dentro do sensor. Sem reação, não haverá leitura de gases inflamáveis pelo detector. Ele informará 0%, mesmo que o ambiente esteja saturado de algum gás inflamável.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Sensores infravermelhos

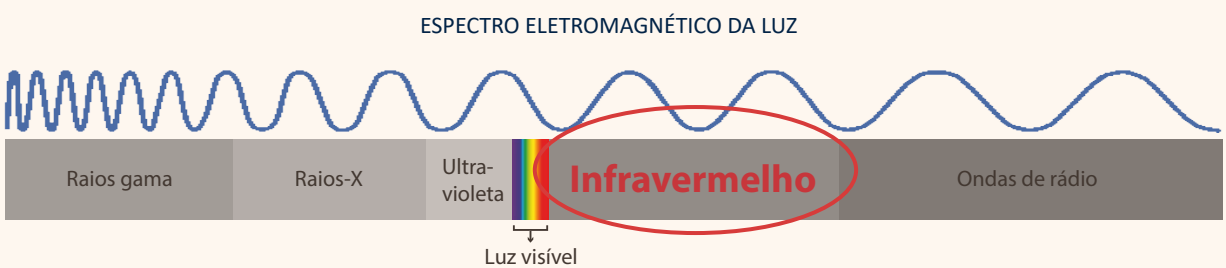
Para gases inflamáveis e dióxido de carbono

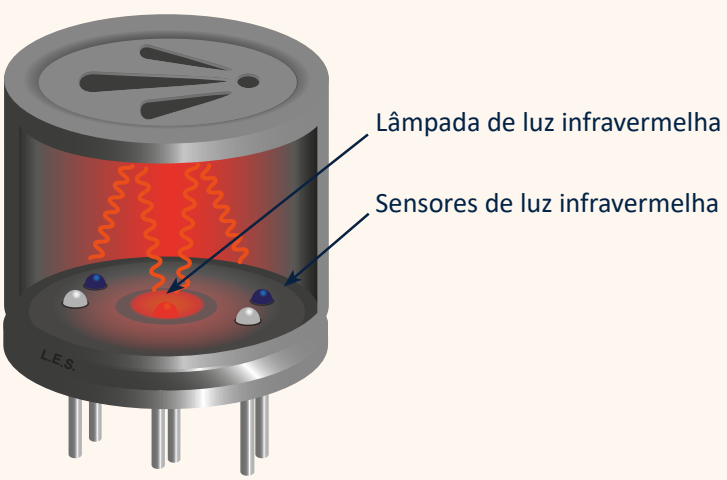
O que é infravermelho?

É a luz infravermelha, uma radiação eletromagnética, uma das faixas de onda da luz branca.

A luz é uma forma de energia composta por muitos comprimentos de ondas, e essas diferentes faixas de ondas são chamadas de espectro eletromagnético, cuja escala vai das ondas de rádio os raio gama. Entre elas existe uma pequena faixa visível ao olho humano. Na imagem abaixo a proporção dessa faixa foi aumentada para ficar mais evidente, mas na proporção correta ela é bem mais estreita. As demais faixas de ondas não são visíveis aos seres humanos.

O infravermelho apresenta uma frequência menor do que a luz vermelha e, por isso, está fora da faixa de luzes visíveis aos humanos. Mas, embora não possamos vê-la, podemos senti-la, pois é a radiação infravermelha que provoca a sensação de calor no corpo humano.





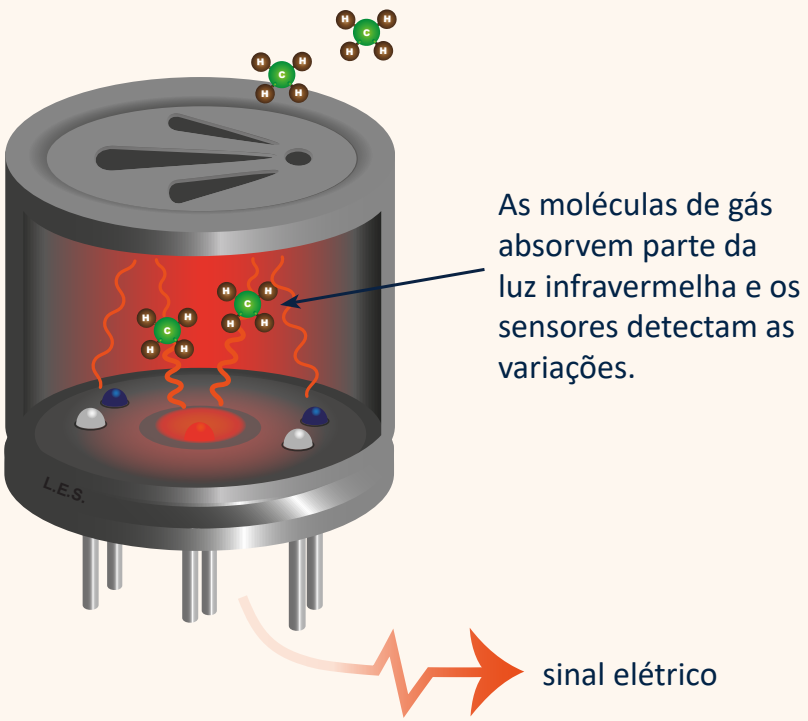
O sensor infravermelho é composto por uma câmara interna onde há uma fonte (lâmpada) de luz infravermelha, com superfícies capazes de refletir as ondas de luz e com sensores para detectar essas ondas.

Os sensores de infravermelho instalados dentro da câmara transformam os sinais luminosos em sinais elétricos, que são interpretados pelo circuito lógico (placa de circuitos) do aparelho.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Sensores infravermelhos

Para gases inflamáveis e dióxido de carbono



Não havendo a presença dos gases que se pretende detectar, a intensidade das ondas de luz infravermelha captadas pelos sensores será igual à emitida pela lâmpada. No entanto, havendo moléculas de determinados gases, como os hidrocarbonetos (compostos orgânicos formados por átomos de carbono e hidrogênio, como os derivados de petróleo) ou o dióxido de carbono, parte das ondas luminosas será absorvida por essas moléculas e a intensidade da luz infravermelha que chega aos sensores será menor.

Essa alteração é interpretada pelo circuito lógico do detector de gases e transformada em uma informação na tela eletrônica. Para o equipamento, quanto menor for a intensidade de luz infravermelha captada pelos sensores, maior será a concentração dos gases.

Uma vantagem importante dos sensores de infravermelho é que conseguem detectar gases inflamáveis em ambientes sem oxigênio.

Uma outra vantagem dos sensores com tecnologia de infravermelho é ter uma vida útil maior se comparados com os catalíticos.

Uma limitação dessa tecnologia é conseguir detectar somente gases formados por moléculas com mais de um tipo de átomo, como o dióxido de carbono, que é formado pelos átomos de carbono e oxigênio (CO_2), ou do metano, que é formado pelos átomos de carbono e hidrogênio (CH_4). Esse tipo de sensor não consegue detectar gases formados por moléculas com um único tipo de átomo, como o gás oxigênio (O_2) ou o gás hidrogênio (H_2).

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Sensores fotoionizadores ou PID

Para compostos orgânicos voláteis

O que são os VOC?

A sigla vem do inglês e significa *Volatile Organic Compound*, ou compostos orgânicos voláteis.

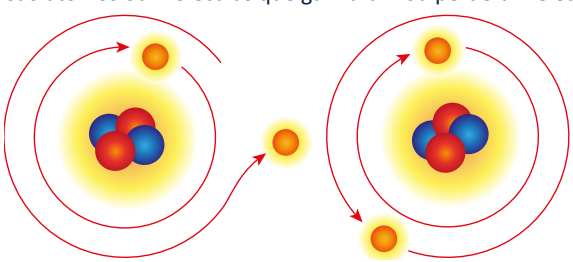
A definição mais simples que podemos dar a eles é que são substâncias orgânicas que evaporam ao contato com a atmosfera, e que podem ser muito prejudiciais ao ambiente e aos seres vivos.

Podem causar graves problemas à saúde dos trabalhadores, mesmo em baixas concentrações.

Exemplos de compostos orgânicos voláteis (VOC) são o Benzeno, o Tolueno e o Xileno, entre outros hidrocarbonetos (compostos orgânicos formados por átomos de carbono e hidrogênio).

O sensor indicado para a detecção desse tipo de gás é o de fotoionização (PID).

Íons são átomos ou moléculas que ganharam ou perderam elétrons



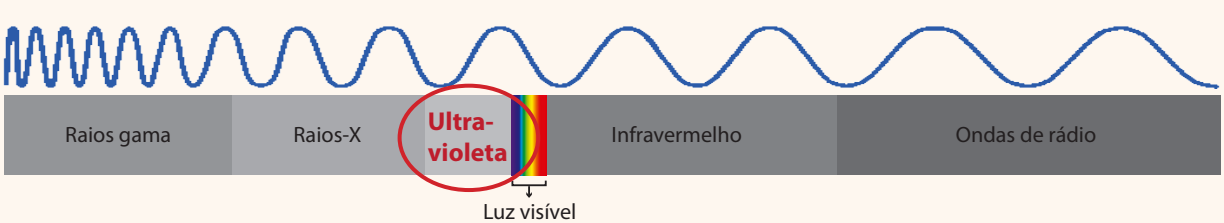
O que é fotoionização?

O chamado Íon é uma espécie química eletricamente carregada. Ele se forma quando átomos ou moléculas ganham ou perdem elétrons.

Esse processo pode ocorrer na reação química entre diferentes substâncias ou sob o efeito de certas radiações. No processo que estamos abordando, a ionização acontece sob o efeito da energia luminosa.

A luz ultravioleta, cujo comprimento de onda é menor do que o da luz visível, é a radiação eletromagnética utilizada para ionizar as moléculas dos gases que se pretende detectar.

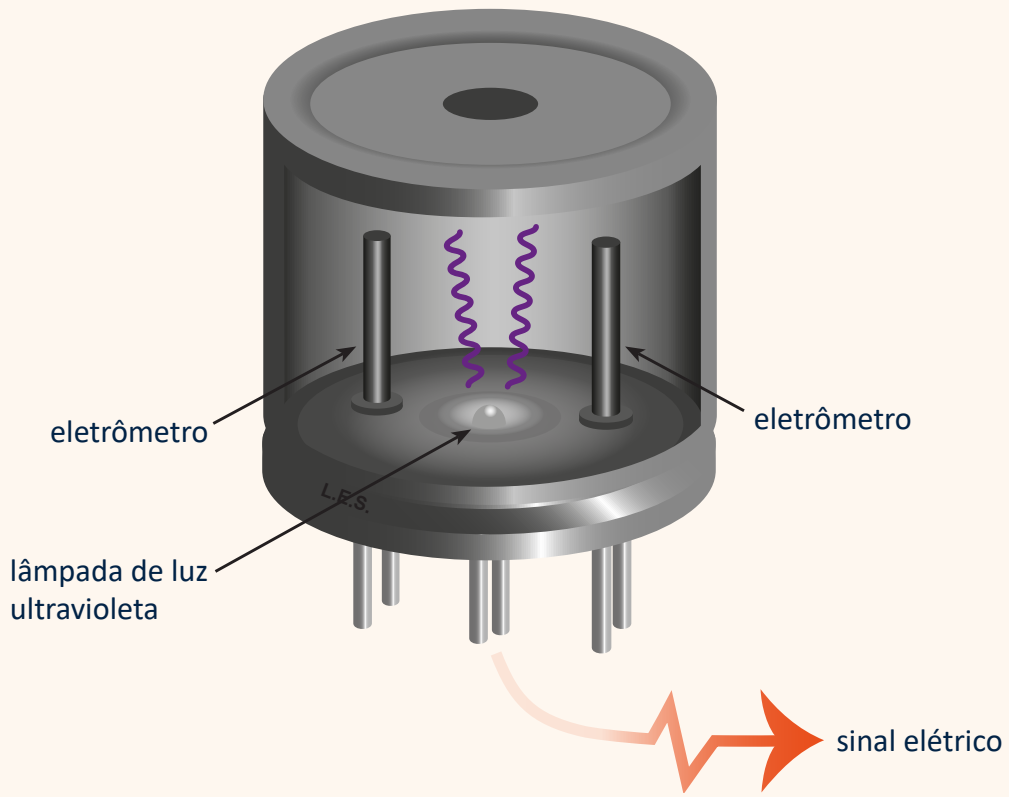
ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DA LUZ



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Sensores fotoionizadores ou PID

Para compostos orgânicos voláteis



Os sensores PID (Photoionization Detector), ou detectores de fotoionização, geram a ionização das moléculas dos gases que se pretende detectar.

Dentro do sensor existe uma lâmpada de luz ultravioleta, cuja radiação gera a ionização das moléculas de gás carregando-as positivamente. Além da lâmpada ultravioleta existem dois dispositivos elétricos, chamados de eletrômetros, que medem pequenas diferenças elétricas (potencial elétrico) causadas pelos íons. Quanto mais gás ionizado, maiores serão as alterações elétricas. Essas variações são transformadas em sinais elétricos, que são enviados para o circuito lógico, que os interpreta e os transforma em uma informação na tela eletrônica do aparelho.

A vantagem oferecida por essa tecnologia é a detecção de concentrações muito baixas de gases, podendo detectar volumes em partes por bilhão (ppb). Isso faz desse sensor a melhor opção para detectar gases como, por exemplo, o Benzeno, que pode afetar a saúde de uma pessoa em concentrações muito baixas.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

TEMPO DE RESPOSTA

T90

Uma característica técnica dos sensores é que eles demandam algum tempo para estabilizar a leitura e oferecer uma resposta confiável sobre a presença e a concentração de um determinado gás.

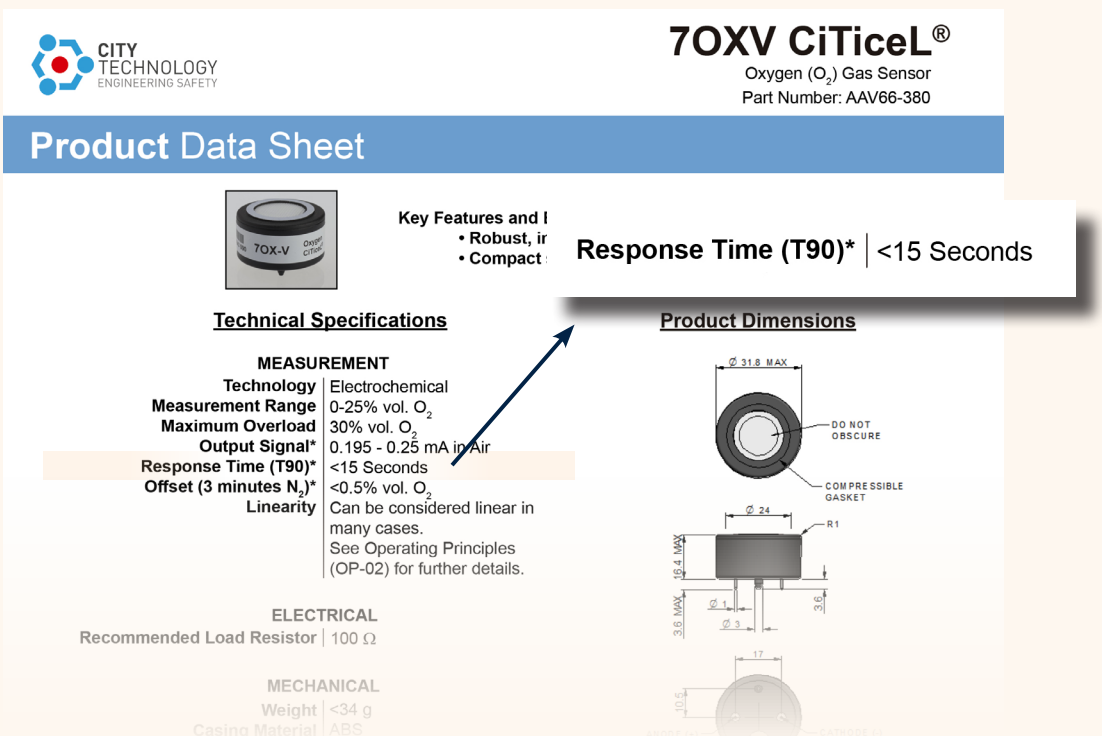
O tempo de resposta varia de acordo com o tipo, a marca e o modelo do sensor. O tempo que um sensor pode levar para estabilizar a leitura de uma atmosfera pode variar de poucos segundos a alguns minutos.

Os valores apresentados pelos fabricantes para determinar o tempo de resposta dos sensores consideram o tempo para atingir 90% do valor final, e por isso utiliza-se o símbolo T90.

Considerando os valores mais comuns apresentados pelos principais fabricantes dos detectores portáteis de gás, o tempo de resposta (T90) varia entre 10 e 40 segundos, ou seja, a estabilização da resposta apresentada na tela exige um certo tempo, que deve ser respeitado.

Cada sensor terá o seu tempo de resposta (T90), e na operação dos detectores multigás deve-se aguardar o tempo do sensor mais lento para se obter uma resposta confiável da avaliação atmosférica. Se a avaliação de um ambiente demanda várias medições, o usuário deverá respeitar o tempo de resposta em cada amostragem.

A informação sobre o tempo de resposta de cada sensor deve ser obtida com o fornecedor do equipamento. Alguns fabricantes disponibilizam essa informação no manual do usuário, outros através das fichas técnicas dos sensores. O importante é que os usuários se informem sobre o T90 para operar o equipamento de forma adequada e confiável.


CITY TECHNOLOGY
ENGINEERING SAFETY

7OXV CiTiceL®
Oxygen (O_2) Gas Sensor
Part Number: AAV66-380

Product Data Sheet

Key Features and I
• Robust, ir
• Compact

Response Time (T90)* | <15 Seconds

Technical Specifications

MEASUREMENT

Technology	Electrochemical
Measurement Range	0-25% vol. O_2
Maximum Overload	30% vol. O_2
Output Signal*	0.195 - 0.25 mA in Air
Response Time (T90)*	<15 Seconds
Offset (3 minutes N_2)*	<0.5% vol. O_2
Linearity	Can be considered linear in many cases. See Operating Principles (OP-02) for further details.

ELECTRICAL

Recommended Load Resistor	100 Ω

MECHANICAL

Weight	<34 g
Casing Material	ABS

Product Dimensions

Ø 31.8 MAX
DO NOT OBSCURE
COMPRESSIBLE GASKET
Ø 24
R1
16.4 MAX
3.6 MAX
Ø 1
Ø 3
3.6
17
10.5

Imagem meramente ilustrativa.

Fonte: www.prod-edam.honeywell.com

FATORES AMBIENTAIS

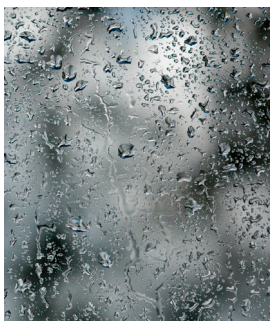


Imagem de desEYEns no Freepik

Umidade

Imagem Freepik

Temperatura

Imagem de Tohamina no Freepik

Pressão atmosférica

No primeiro capítulo vimos que fatores ambientais como temperatura, umidade e pressão podem afetar as propriedades dos gases.

A temperatura pode alterar o volume, a pressão e a densidade dos gases. A pressão e a temperatura também podem afetar outras propriedades como a viscosidade (escoamento), que se relaciona com a difusão, que é a capacidade dos gases de se deslocarem de um meio para outro meio - que é o que acontece quando um gás na atmosfera alcança o interior de um sensor.

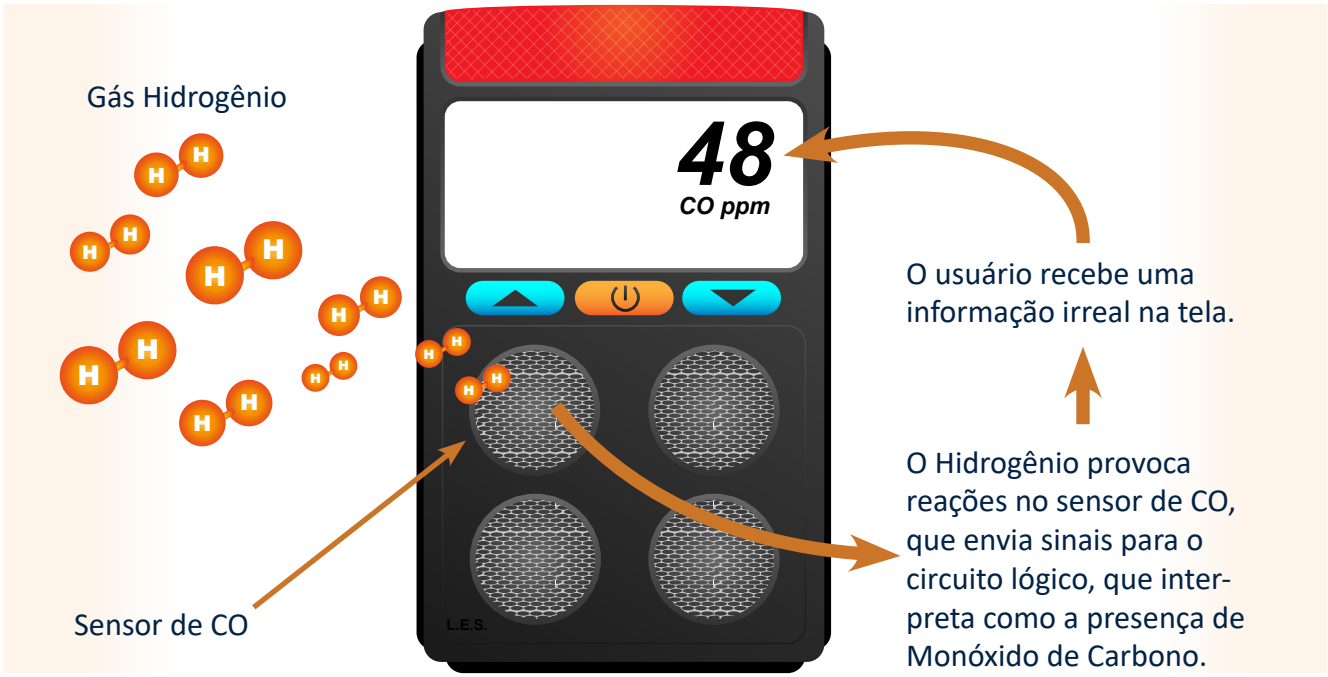
A quantidade de vapor d'água na atmosfera pode alterar a concentração de determinados gases, que reagem quimicamente à presença da umidade.

Portanto, os fatores ambientais como temperatura, pressão e umidade podem afetar a interação dos gases com os sensores e provocar mudanças nas leituras obtidas com os detectores de gás.

Os bons equipamentos dispõem de recursos para compensar as variações ambientes, no entanto, ainda são suscetíveis a mudanças bruscas de temperatura, umidade e pressão. Por isso é recomendável que o aparelho seja ajustado em locais apropriados, mas que ofereçam condições próximas aos dos ambientes onde serão usados.

Alguns problemas decorrentes dessas variações podem ser facilmente solucionados com o ajuste em zero, que será abordado mais adiante, mas o primordial é que os detectores sejam regularmente submetidos ao teste de resposta (bump test) e ajustados, se necessário, usando o gás padrão, seguindo as orientações do fabricante.

SENSIBILIDADE CRUZADA



A sensibilidade cruzada, também chamada de interferência cruzada ou detecção cruzada, é uma correlação entre gases, comum nos sensores de tecnologia eletroquímica.

Na prática, significa que um sensor para um determinado tipo de gás pode reagir à presença de um outro gás. Isso pode levar a falsos alarmes ou a situações de grave risco, se o gás que estiver causando a interferência for muito tóxico.

Um exemplo para esse tipo de interferência é o gás Hidrogênio, que pode provocar uma reação no sensor de Monóxido de Carbono (CO). A correlação é de 48%, ou seja, havendo 100 ppm de Hidrogênio (H_2) em uma atmosfera, a leitura no sensor de Monóxido de Carbono (CO) será de 48 ppm.

Essa situação serve para lembrar sobre da importância de se conhecer bem os ambientes onde se trabalha. É fundamental que sejam conhecidos todos os gases com potencial para contaminar a atmosfera dos espaços de trabalho, e com esse conhecimento selecionar os modelos de detectores de gases e os tipos de sensores adequados aos riscos potenciais.

Outro cuidado básico é obter com os fornecedores dos equipamentos as informações sobre a sensibilidade cruzada para cada sensor utilizado pelo usuário.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

DETECÇÃO DO RISCO DE EXPLOSIVIDADE

Como o risco de explosão é medido?

As diferentes tecnologias de sensores para gases inflamáveis detectam a presença de substâncias capazes de gerar fogo e explosão, porém, não são capazes de indicar qual gás está presente na atmosfera. No primeiro capítulo foram apresentados exemplos sobre os limites de explosividade de diferentes gases, e foi demonstrado que podem ser muito diferentes, com alguns apresentando o limite inferior de explosividade próximo do 1%.

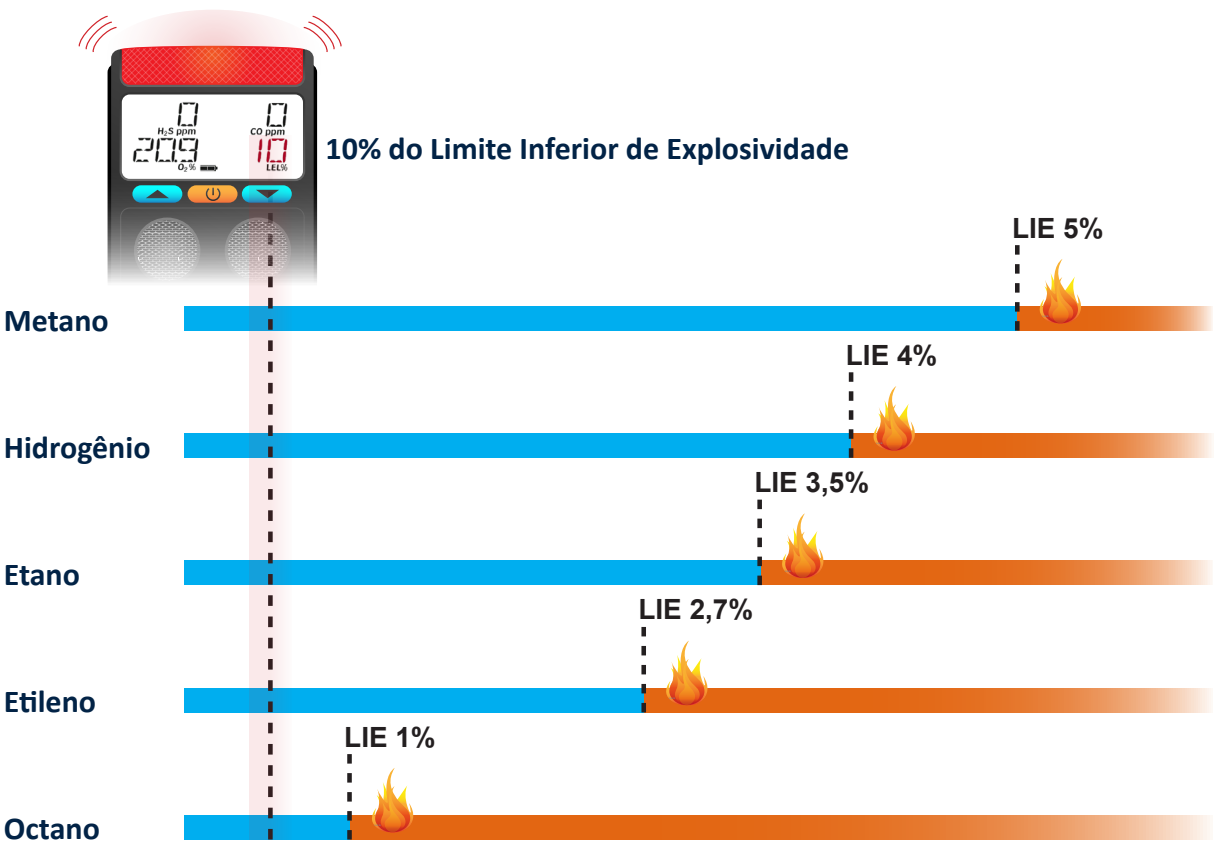
Então, como fazer para garantir que o detector de gases dispare o alarme sobre o risco de incêndio e de explosão antes que o acidente ocorra, mesmo não sabendo qual é o gás? A resposta está no ajuste do aparelho.

O ajuste é feito eletronicamente, programando-o para que dispare os alarmes ao sinal de pequenas reações.

Usa-se, normalmente, o gás Metano para esse ajuste. O limite inferior de explosividade do Metano é de 5% de volume, e o detector é ajustado para alarmar com apenas 10% dessa concentração, ou seja, basta 0,5% de Metano na atmosfera avaliada para que os alarmes sejam acionados. É daí que surgiu a referência dos 10% do limite inferior de explosividade.

Mas, e se não for o Metano? E se for, por exemplo, o gás Octano, cujo L.I.E. é de apenas 1%? A resposta a esta pergunta ajuda a entender como o detector de gases protege os trabalhadores. Vamos lembrar que o detector não distingue os gases inflamáveis, apenas reage à presença deles. Com o ajuste feito para que o alarme seja acionado com uma reação muito pequena do sensor, o aparelho irá alertar os trabalhadores antes que a atmosfera se torne inflamável, esteja ela contaminada pelo Metano, pelo Octano ou por qualquer outro gás inflamável.

Para compreender melhor, veja a tabela abaixo.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Características dos detectores

Imagem de Freepik

DETECTORES PORTÁTEIS DE GÁS

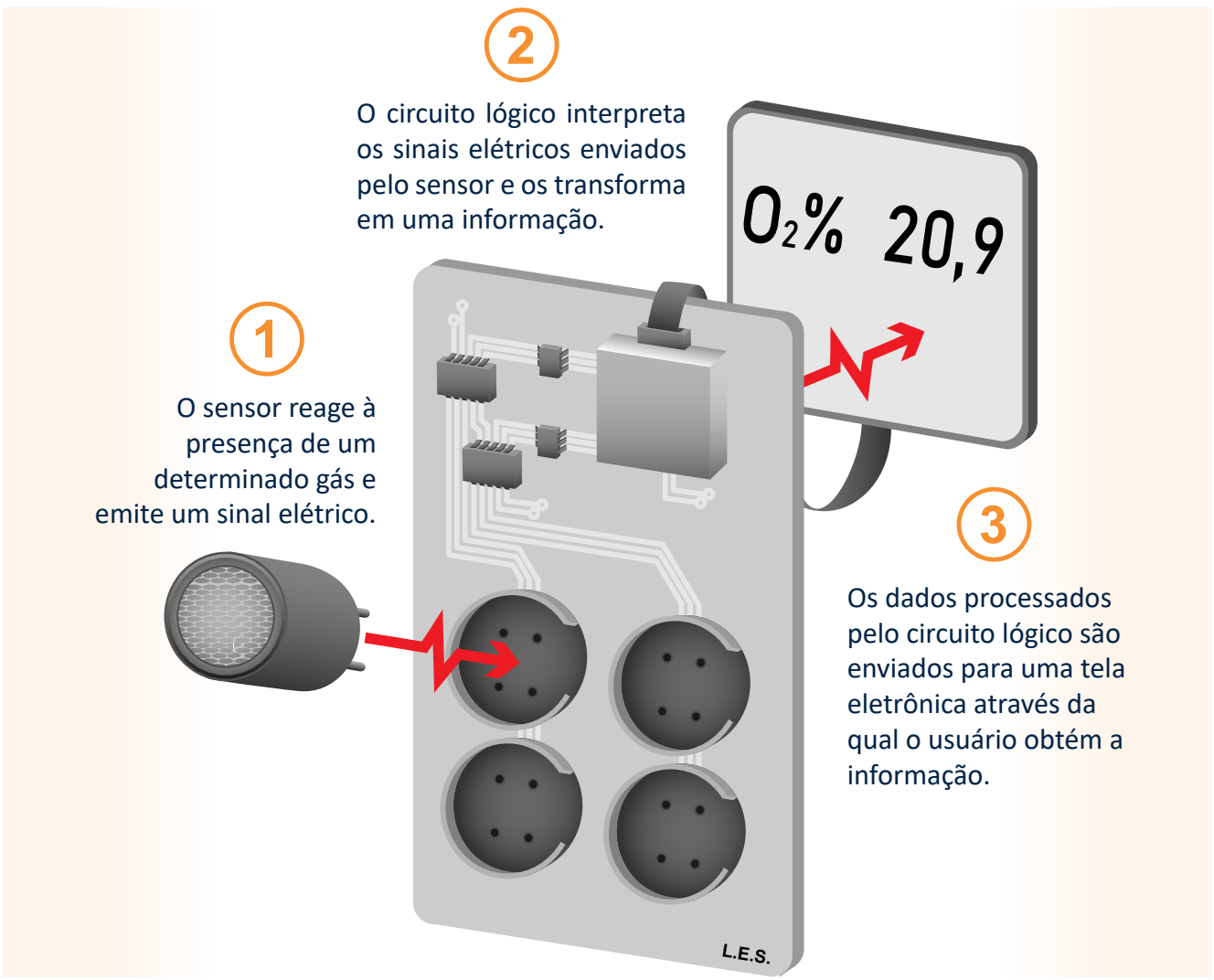
Entre os modelos de detectores portáteis existem os que detectam um único gás e outros que detectam múltiplos gases.

Os modelos mais comuns no mercado, os chamados multigás, detectam quatro gases e comumente incluem os sensores para o oxigênio (O_2), para os gases inflamáveis (LIE ou LEL), para o gás sulfídrico (H_2S) e para o monóxido de Carbono (CO).

No mercado brasileiro há detectores portáteis de gás para até sete gases.

Todos os modelos portáteis apresentam o mesmo princípio de funcionamento, que é ter sensores que reagem ao contato com determinados gases. Essa reação gera um sinal elétrico, esse sinal elétrico é interpretado por um circuito lógico que por sua vez gera uma informação visual numa tela eletrônica.

Cabe ao circuito lógico, conforme a sua programação, fornecer várias informações sobre o funcionamento do equipamento e emitir sinais sonoros e visuais quando a detecção de gases ultrapassar os limites de segurança, quando a carga da bateria alcançar o nível baixo ou for detectada alguma falha de funcionamento no aparelho.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES BÁSICAS

As normas nacionais determinam que os equipamentos de detecção de gás ofereçam algumas características e funções. São elas:

Oferecer uma leitura direta

Os aparelhos devem realizar a avaliação da atmosfera e apresentar os resultados em tempo real, com os valores expressos em números em uma tela eletrônica. Porém, devemos lembrar que os sensores apresentam diferentes tempos de resposta, variando de segundos a minutos para alcançar 90% do valor final (T90), e ainda mais tempo para alcançar 100% da medição.

Ser intrinsecamente seguro

Um aparelho que será usado para detectar gases inflamáveis, evidentemente não pode funcionar como fonte de ignição. Por isso eles são projetados, fabricados e certificados para não produzir calor ou faíscas que possam agir como fontes de ignição, mesmo em condição de falha.

Ser provido de alarme

O principal objetivo dos detectores de gás é alertar os trabalhadores dos riscos existentes na atmosfera, e eles devem fazer isso acionando um conjunto de alarmes que deve incluir som, luz e vibração.

Eles também devem alertar para o nível baixo da bateria e espera-se que alertem sobre certas falhas do equipamento.

As diferentes marcas e modelos de detectores portáteis de gás oferecem também diferentes níveis de alarme, cujos manuais devem orientar os usuários a reconhecê-los.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

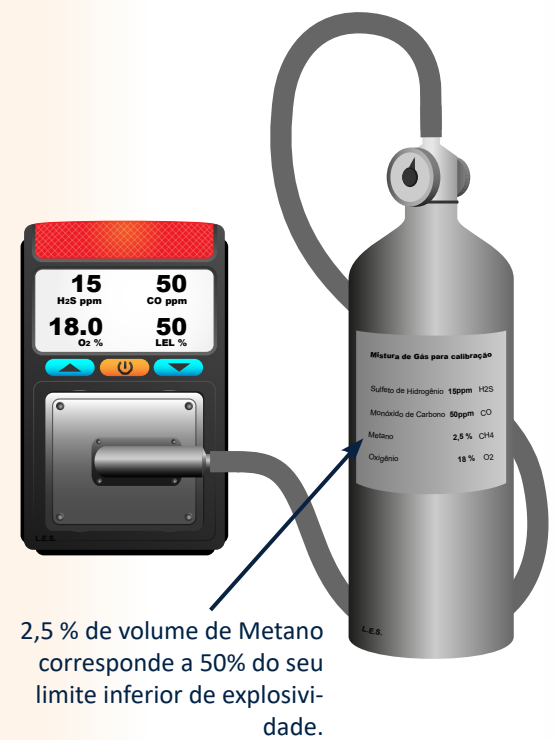
CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES BÁSICAS

Operar por difusão e aspiração

Entre os empregos dos detectores de gás, há a avaliação inicial da atmosfera, realizada para sondar a qualidade do ar antes de liberar a entrada dos trabalhadores em um espaço confinado. A outra utilidade é monitorar a atmosfera durante a permanência deles dentro desse ambiente.

Como a avaliação inicial deve ser feita do lado de fora do espaço confinado, a única forma de realizar essa operação é aspirando o ar com uma bomba elétrica de sucção através de uma sonda (mangueira) até o conjunto de sensores.

Para o monitoramento da atmosfera em torno dos trabalhadores é possível usar a forma passiva do equipamento, quando houver um contato natural dos sensores com os gases.



Deve estar calibrado

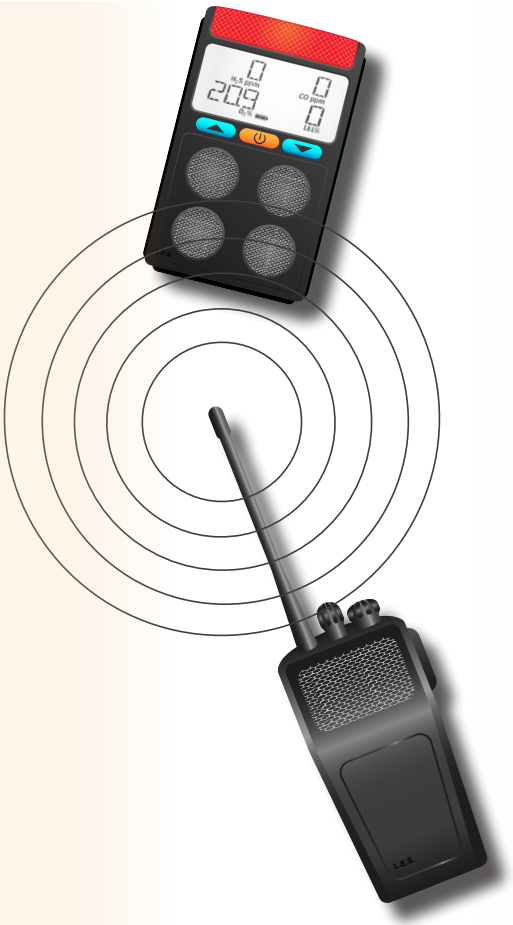
A calibração é por definição, uma avaliação. Antes de ser usado é necessário que o detector seja submetido a uma avaliação a fim de confirmar se ele está medindo corretamente os gases.

A única forma de realizar essa avaliação é através de um teste de resposta (bump test), que é uma calibragem realizada pelo próprio usuário. Nesse teste os sensores são submetidos a uma mistura padrão de gases com concentrações especificas. Nesse teste os sensores devem medir com certa precisão as quantidades indicadas no cilindro. Se a resposta do aparelho não for correta, um ajuste deverá ser realizado, e se o ajuste não for possível o equipamento deverá ser encaminhado para manutenção.

Mais adiante abordaremos melhor os procedimentos de calibragem e teste de resposta.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES BÁSICAS



Deve ser protegido contra emissões eletromagnéticas ou interferências de radiofrequência

A radiação eletromagnética é uma junção de campo magnético e campo elétrico, que se propaga transportando energia. As fontes de radiação eletromagnética podem ser naturais, mas estão presentes na vida moderna, como equipamentos elétricos e eletrônicos dos mais variados.

As ondas de rádio também são uma forma de radiação eletromagnética e podem interferir no funcionamento dos equipamentos elétricos e eletrônicos se estes não tiverem formas de proteção.

O que é relevante para os equipamentos de detecção de gás é o risco de interferência causado pela emissão de radiação eletromagnética e radiofrequência por outros equipamentos. Pela importância dos detectores de gás, esse tipo de interferência não pode acontecer, por isso eles são projetados e construídos para resistirem, dentro de limites, a essas radiações.

Existe também a orientação de evitar o contato muito próximo das antenas de rádios com os aparelhos de detecção de gases, respeitando-se uma distância que não seja inferior a trinta centímetros.

Deve ter proteção contra umidade e poeira

Os aparelhos devem ter um nível de proteção contra água e poeira.

A norma internacional que define os padrões de proteção estabelece uma certificação e um código de classificação IP (ingress protection), ou proteção contra entrada. O código de certificação é composto por dois números que indicam o tipo de proteção que o equipamento dispõe. Por exemplo, quando um fabricante de detectores de gás apresenta o código IP 67, significa que ele oferece proteção contra objetos sólidos e contra líquidos. Entenda melhor:

O primeiro número indica o grau de proteção contra objetos sólidos:

6 = à prova de poeira.

O segundo número indica o grau de proteção contra líquidos:

7 = contra imersão temporária (até 1 metro por 30 minutos).

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

ACESSÓRIOS

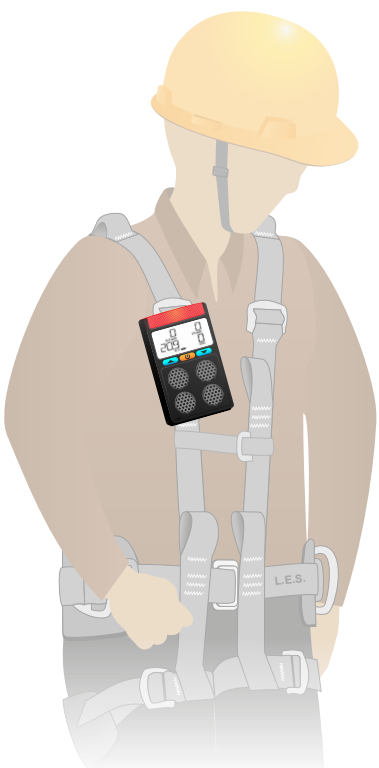
O preço dos detectores de gás pode pesar para uma empresa de pequeno porte ou para as empresas maiores que precisam adquirir vários aparelhos. Isso, aliado à falta de conhecimento técnico, pode levar a uma má compra ou a uma compra incompleta.

Quem não conhece todas as possíveis e necessárias aplicações dos detectores de gás nas rotinas de trabalho, pode acreditar, ingenuamente, que adquirir apenas o aparelho basta. Mas não é verdade!

Se a necessidade for somente para monitorar o entorno do trabalhador, de fato, basta ter um aparelho com os sensores corretos instalado muito próximo da pessoa ou nela própria. Porém, se o aparelho for utilizado para a avaliação de ambientes antes do ingresso de pessoas, certos acessórios passam a ser necessários.

Na lista de acessórios existem os que oferecem os meios de uma avaliação adequada e cuidadosa, e os que permitem a devida e necessária calibração e ajustes.

Sem um kit adequado de acessórios, o uso dos detectores de gás pode ficar limitado e não atender a todas as necessidades.



A imagem ao lado ilustra o uso individual do detector de gás. Essa é uma situação que exige poucos acessórios para portar e transportar o aparelho.

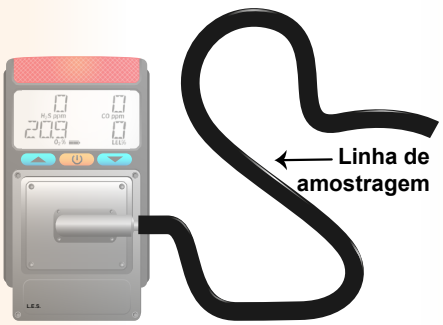
Portanto, em certas situações, ter apenas o detector pode bastar. No entanto, sem um conjunto de acessórios, o seu uso se torna muito limitado.

Quais são esses acessórios?

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

ACESSÓRIOS

Para a avaliação inicial



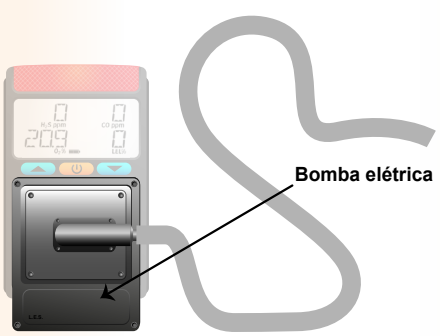
Linha de amostragem

O primeiro a ser listado é a linha de amostragem, ou também chamada sonda, que é uma mangueira flexível com comprimento que pode variar de 3 a 40 metros, dependendo do fabricante, do modelo e da capacidade de sucção da bomba elétrica.

Em conjunto com a bomba elétrica a linha de amostragem suga o ar atmosférico do ambiente ou da parte do ambiente que se pretende avaliar e o conduz até os sensores. Sem essa sonda não é possível avaliar um ambiente antes que alguém ingresse no seu interior.

A linha de amostragem pode ser fabricada com diferentes matérias primas, oferecendo características diferentes de cor, textura e maleabilidade.

Dependendo da matéria prima com qual a linha de amostragem é fabricada, pode haver o risco de ela absorver produtos químicos ou de ficar contaminada por eles. Em ambos os casos isso afeta a detecção dos gases. Portanto, é essencial que os gases do ambiente de trabalho sejam conhecidos e que seja feita a seleção correta do modelo da mangueira.



Bomba elétrica de succção

Para que uma linha de amostragem (mangueira) possa sugar o ar de um ambiente a vários metros de distância, é preciso que haja uma bomba se sucção para fazer com que os gases cheguem aos sensores.

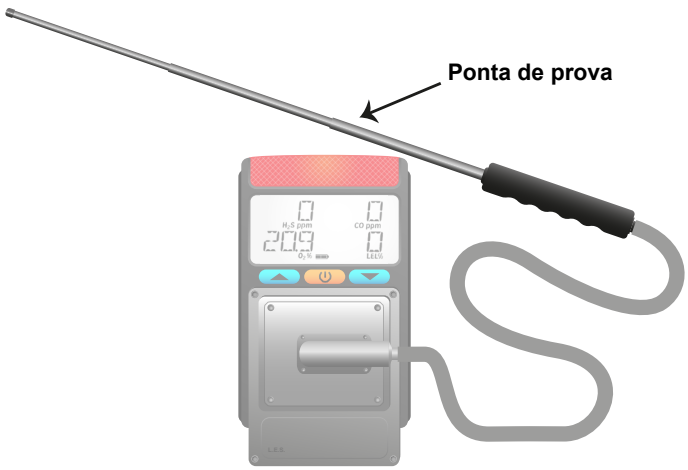
No passado havia as bombas manuais, mas com o passar do tempo se tornou padrão utilizar os modelos elétricos.

Cada linha de modelos de detectores de gás possui um modelo próprio de bomba elétrica, com uma forma de encaixe específico e com uma potência determinada de sucção, o que determinará o comprimento máximo da linha de amostragem (mangueira) que poderá ser usada em conjunto.

O conjunto detector e bomba são certificados juntos na avaliação de proteção contra explosividade. São os chamados equipamentos elétricos intrinsecamente seguros (Exi), e portanto, o conjunto não pode ser improvisado.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

ACESSÓRIOS

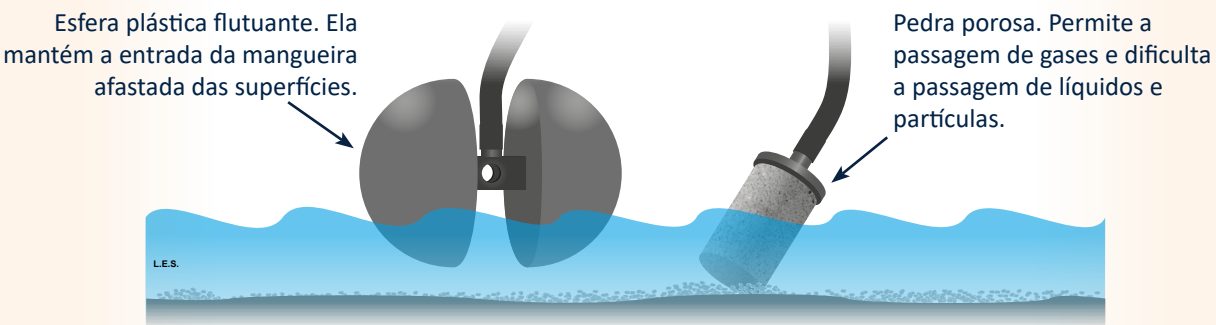


Ponta de prova

Esse é um acessório muito desprezado, mas essencial para uma avaliação correta e segura da atmosfera de um ambiente.

O gás pode estar concentrado em diferentes partes do ambiente; então, como checar todo o espaço? Por exemplo, em galerias a recomendação é que a sondagem da atmosfera aconteça progressivamente, trecho a trecho, avaliando o espaço à frente, em intervalos de 1,2 metro a 1,5 metro. Tendo apenas a linha de amostragem flexível, é possível apenas jogar a mangueira para frente e sondar à altura do piso. Também é impossível avaliar as partes mais altas acima da cabeça.

Sem a ponta de prova, em muitas situações só é possível sondar os espaços que o braço humano alcança, e isso torna a tarefa limitada e perigosa.



Proteção na sucção

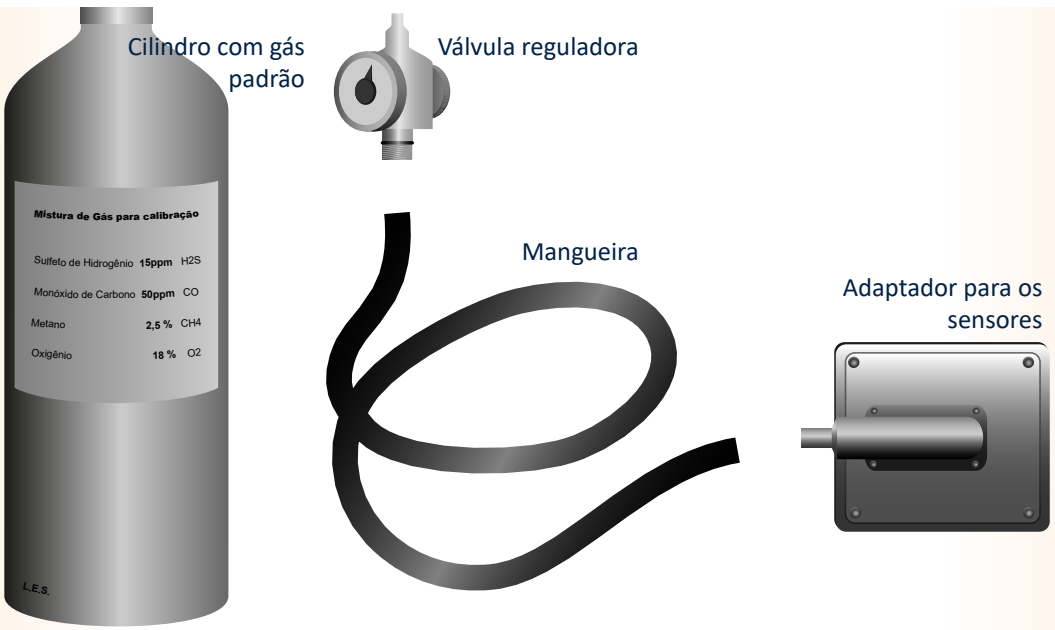
Em ambientes como espaços confinados, existe a chance de encontrar no piso a presença de lâminas d'água, lodo ou o acúmulo de sujeiras sobre o chão. Embora os detectores de gás ofereçam uma resistência a líquidos e a poeiras, e as bombas de sucção dificilmente conseguem aspirar produtos líquidos ou sólidos por longos comprimentos de mangueira, existe o risco de a entrada da mangueira ser obstruída.

Para evitar uma obstrução ou que parte do material depositado no fundo do ambiente seja sugado, é indicado o uso de dispositivos que protejam a entrada da linha de amostragem.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

ACESSÓRIOS

Acessórios para a calibração e o ajuste



Kit de calibração

Os detectores de gás devem ser submetidos a uma avaliação antes de serem utilizados ou, ao menos, uma vez por dia. Essa avaliação consiste em verificar a precisão na resposta dos aparelhos quando submetidos aos gases. A única forma de fazer essa verificação é comparando um gás padrão com o valor apresentado pelo aparelho. Para isso, é necessário ter o cilindro de gás padrão, fornecido pelo fabricante do equipamento.

Também é necessário ter uma válvula reguladora, uma mangueira e um adaptador para fazer com que o gás ou a mistura de gases chegue aos sensores.

Mais adiante serão abordos com mais profundidade os procedimentos de calibração, teste de resposta e ajuste.

Imagem
Industrial Scientific

Imagem
MSA Brasil

Estação de calibração

Para a calibração e o teste de resposta (bump test), bem como os eventuais ajustes necessários, pode ser usada uma estação que automatiza o processo e contribui para uma pequena economia do gás padrão, além de facilitar o registro das operações.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Calibração, teste de resposta e ajuste de auto-zero

Imagem de rawpixel.com no Freepik

CALIBRAÇÃO

É um entendimento comum que a calibração é um modo de perfeito estado de funcionamento. Ou seja, calibrar um aparelho significa, no entendimento popular, ajustar o equipamento para que ele funcione com precisão. No entanto, esse entendimento é errado.

Na definição correta a calibração é o modo de comparar a resposta de um aparelho a um determinado padrão, ou seja, é um processo de avaliação do equipamento.

No caso específico dos detectores de gás, calibrar um equipamento é submetê-lo a uma concentração específica e padronizada de gás para avaliar se ele responde com precisão. Portanto, em termos simples, a calibração é uma comparação, um meio de avaliação.

Para avaliar a exatidão do funcionamento do detector de gás o padrão de referência existe na forma de um cilindro de gás, chamado de gás padrão, fornecido pelo fabricante do equipamento. Nesse cilindro um determinado gás, ou um conjunto de gases, foi envasado em quantidades específicas, cujos valores são informados no rótulo. Essas quantidades são usadas como referência para averiguar se o detector está indicando os valores corretos ao ter contato com esses gases.

Na prática, um detector com um sensor de Monóxido de Carbono (CO) será submetido a uma concentração específica desse gás, como por exemplo 50 ppm, e o esperado é que o equipamento detecte, calcule e indique 50 ppm de CO na sua tela. Se o detector indicar um valor diferente significará que ele está desajustado e outros procedimentos precisarão ser adotados.

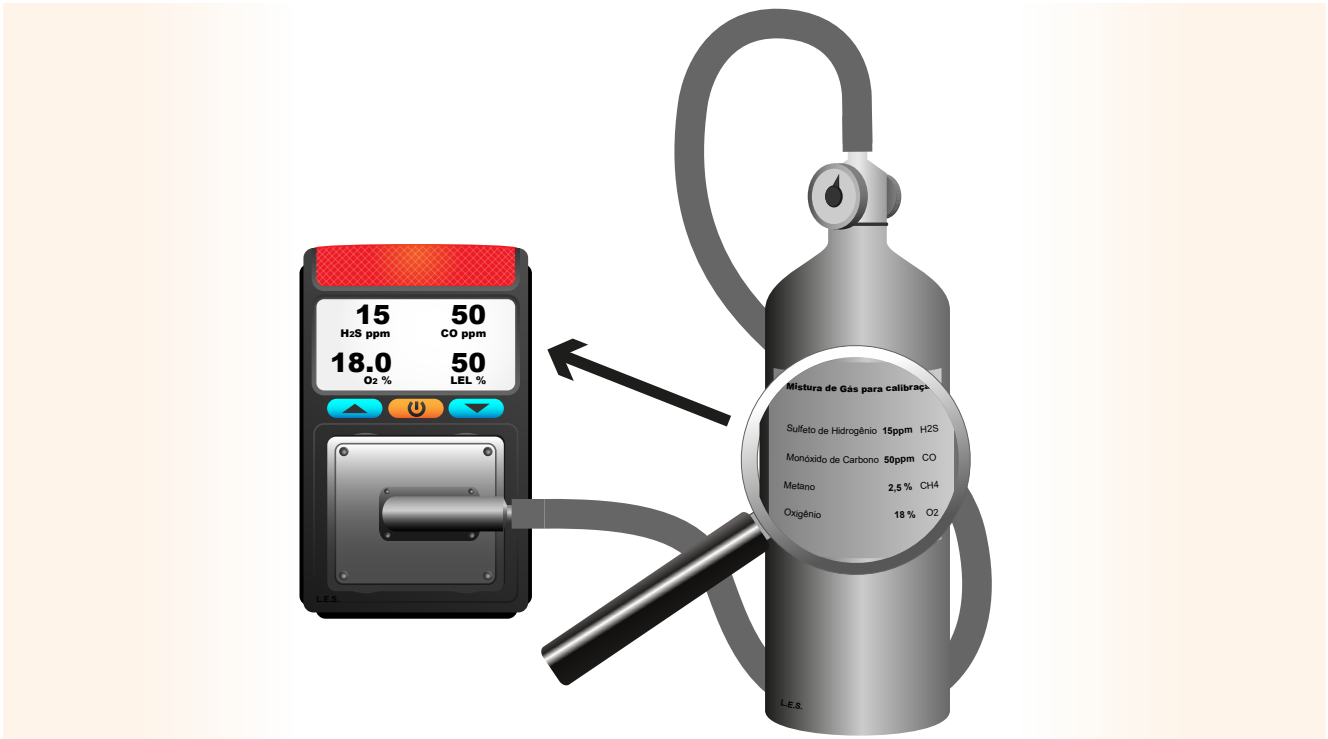
Esses outros procedimentos incluem o ajuste do equipamento, que é realizado eletronicamente, através do software do aparelho. Na prática, usando o exemplo acima, o que o operador do equipamento faz para ajustar o detector é instruir a parte lógica do aparelho para que considere o valor real indicado no cilindro de gás padrão, ou seja, que a reação do sensor e os sinais elétricos enviados por ele correspondem aos exatos 50 ppm. A partir dessa nova referência o detector de gás irá calcular as outras reações do sensor e fornecer leituras mais precisas.

No entanto, pode acontecer do ajuste não ser possível pelo fato do sensor estar saturado ou defeituoso. Nesse caso o procedimento seguinte será o da manutenção, que pode consistir na troca do sensor.

Em resumo, para garantir a exatidão na resposta do aparelho ao detectar gases, três diferentes procedimentos podem ser necessários. São eles:

Calibração	=	avaliação
Ajuste	=	correção
Manutenção	=	correção para o ajuste ser possível

TESTE DE RESPOSTA



O teste de resposta é um procedimento relativamente simples realizado pelo usuário. Ele nada mais é do que uma calibração, ou seja, uma avaliação para determinar a precisão das medições do detector de gás. Contudo, é feita uma distinção entre os dois procedimentos. Associa-se a calibração a um procedimento padronizado e com maior precisão, realizado em um ambiente controlado, como um laboratório. Já o teste de resposta, ou *bump test*, como também é chamado, é realizado pelo usuário no ambiente de trabalho.

Ligar o aparelho em um ambiente de ar limpo para verificar se ele funciona e se informa os valores esperados para um ar com uma composição normal não é suficiente para avaliar se o detector está medindo os gases com precisão.

O teste de resposta é um procedimento essencial para garantir que o detector de gás cumpra com eficiência a sua função de proteger a vida e a saúde dos trabalhadores. Sem ele, não há garantia de que o equipamento esteja funcionando corretamente, mesmo que ele tenha acabado de chegar de uma calibração feita em laboratório. Vários fatores como umidade relativa do ar, temperatura e pressão atmosférica, entre outros, podem interferir no funcionamento do equipamento.

Quando identificado um desvio na resposta do aparelho ao conteúdo do cilindro de gás padrão, o mesmo kit de teste será usado para o ajuste do detector.

Portanto, a única forma de assegurar a precisão de funcionamento do detector de gás é através do teste de resposta.

Esse teste deve ser efetuado sempre antes do uso, ou ao menos uma vez antes de iniciar o dia de trabalho.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

AJUSTE DE AUTO-ZERO

Esse tipo de ajuste, também conhecido como ajuste de ar limpo, utiliza o software do detector de gás para indicar ao equipamento que a atmosfera que ele está medindo é saudável. Esse procedimento força um ajuste para às condições de temperatura, umidade do ar e pressão as quais ele está submetido.

Usando como exemplo um detector multigás, com o conjunto mais comum de sensores, o ajuste de auto-zero indicará para o aparelho que os sinais que ele está recebendo dos sensores são de 20,9% de oxigênio ou 20,8% para alguns modelos de detectores, 0 ppm de gases tóxicos e 0% de gases inflamáveis. Criada essa referência, o detector irá calcular eventuais alterações na atmosfera, seja para mais ou para menos.

Portanto, esse tipo de ajuste somente pode ser realizado em uma atmosfera segura, do contrário o usuário irá criar uma falsa referência para o aparelho e prejudicar a precisão das medições futuras.

Em hipótese alguma o ajuste de auto-zero pode ser aplicado em uma atmosfera potencialmente perigosa.

Recomenda-se não respirar perto dos sensores, pois o ar que sai dos pulmões tem uma concentração de oxigênio menor e pode oferecer ao detector uma referência errada.

Esse tipo de ajuste é feito ao ligar o aparelho e antes de algumas operações como, por exemplo, a calibração.

O ajuste de auto-zero não substitui o teste de resposta.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CALIBRAÇÃO RBC

A Norma Regulamentadora número 33, cujo título é segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados, exige que os detectores sejam calibrados por laboratórios de calibração acreditados pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia). O INMETRO é o responsável pelo credenciamento das entidades denominadas de Organismo de Certificação Credenciado (OCC) e estes organismos, por sua vez, são responsáveis por acreditar os laboratórios que comprovem a conformidade dos seus processos com a norma ABNT NBR ISO IEC 17025, tornando-os parte da Rede Brasileira de Calibração (RBC).

A norma técnica ABNT NBR 16577, publicada no ano de 2017, também determina que esta calibração deve ser realizada em um laboratório acreditado pelo INMETRO (RBC).

Nessa rede é garantida a padronização dos procedimentos de calibração oferecidos pelos laboratórios de calibração e ensaio. Esse padrão garante que os procedimentos adotados, que os instrumentos utilizados, que a capacitação dos profissionais envolvidos e que as condições ambientais como temperatura e umidade sejam padronizadas.

Sem dúvida que há um incremento de qualidade nos procedimentos dos laboratórios participantes dessa rede. Contudo, existe uma controvérsia sobre a exigência para a certificação RBC que veremos no próximo tópico.

A periodicidade dessa calibração deve ser determinada pelo usuário, seguindo as recomendações do fabricante.

Diferentemente do que aconteceu no passado, a calibração realizada por esses laboratórios não pode mais ter um prazo de validade, já que essa validade induzia os usuários a uma falsa sensação de segurança.

A controvérsia sobre a calibração RBC

Não há dúvidas sobre a qualidade do serviço prestado, ou mesmo da precisão nos processos de calibração e ajuste dos detectores de gás realizados nos laboratórios acreditados. No entanto, existem questionamentos e severas críticas no Brasil quanto a essa exigência.

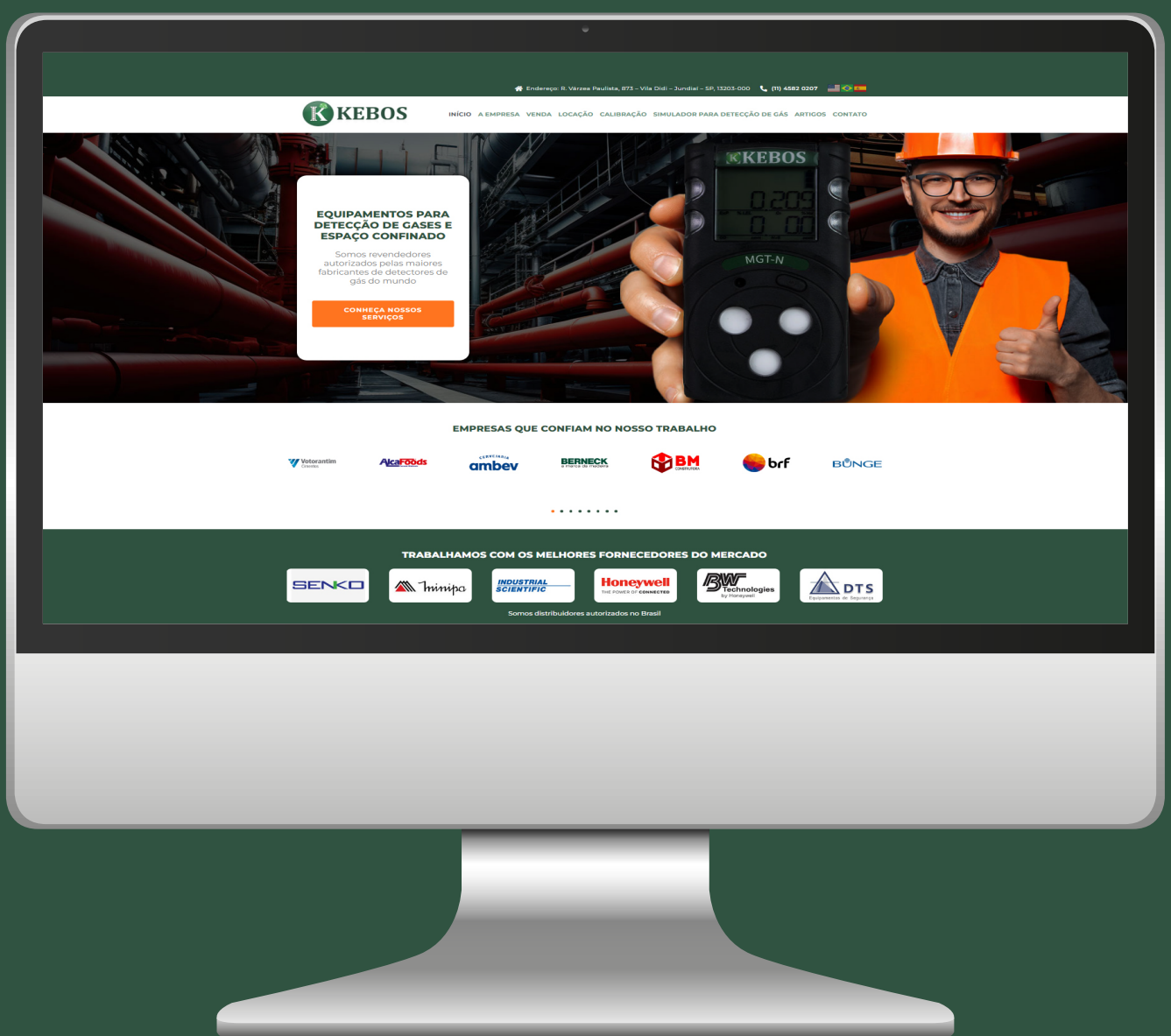
Devemos lembrar que as condições ambientais como pressão, umidade e temperatura interferem no estado dos gases e no funcionamento dos sensores. Outros fatores como a exposição do aparelho a certos gases podem interferir nas respostas dos aparelhos ou prejudicar o funcionamento dos sensores. Sendo assim, a precisão da calibração e dos ajustes realizados em um detector de gás dentro de um ambiente controlado de um laboratório acreditado pelo INMETRO, não tem como garantir a precisão das respostas do equipamento quando usado em condições muito diferentes.

Por mais bem ajustado e calibrado que tenha sido o detector no laboratório, não há garantia de que a resposta do aparelho à presença de gases no local de trabalho mantenha essa precisão, por causa das condições adversas que o equipamento poderá enfrentar. Não há como o próprio laboratório garantir a confiabilidade do equipamento em condições diferentes daquelas em que ele foi calibrado e ajustado.

Por causa disso, não há como dispensar da rotina de trabalho o teste de resposta, que nada mais é que a calibração rotineira feita pelo usuário no seu ambiente de trabalho.

KEBOS

www.kebos.com.br



Especificações para a seleção dos detectores

ESPECIFICAÇÕES PARA A SELEÇÃO DOS DETECTORES

O custo para a aquisição de um equipamento de detecção de gases é significativo e a sua aplicação é de grande importância, portanto, não é aconselhável efetuar a compra de equipamentos sem uma especificação cuidadosa.

Os requisitos de avaliação e de elaboração de uma especificação adequada são:

Considere os ambientes de trabalho

Os detectores de gás avaliam gases específicos, e que podem sofrer a interferência ou serem danificados pela presença de outras gases, portanto, conhecer os riscos potenciais dos ambientes de trabalho é imprescindível.

Devem ser considerados todos os gases e os vapores que podem vazar, ou gases e vapores que podem surgir nos processos de produção e operação, mesmo aqueles que não são considerados perigosos para os seres humanos.

Existem casos em que há justificativa para coletar amostras das atmosferas dos locais de trabalho para serem analisadas em laboratório, e dessa forma descobrir todas as substâncias químicas que contaminam o ar dos ambientes. Diante do resultado será feita a especificação dos sensores que serão necessários para cobrir os riscos identificados.

Considere o tipo de uso que será dado aos aparelhos

Para determinar a quantidade e o modelo dos detectores é preciso responder às seguintes questões:

- Será usado para a detecção de um único gás ou para a detecção de vários gases?
- Eles serão de uso individual ou serão usados para a avaliação e o monitoramento de trabalhos em equipe?
- Eles serão usados apenas para o monitoramento ou serão utilizados também para a avaliação dos ambientes?

O monitoramento pode exigir apenas que o trabalhador porte o detector durante a sua tarefa ou durante a sua jornada de trabalho. No entanto, se o equipamento for usado para a avaliação de um ambiente de trabalho antes do ingresso de pessoas, o recomendável será um modelo multigás com acessórios como bomba elétrica, linha de amostragem, ponta de amostragem e proteção para a ponta de sucção.

Se o uso é para a segurança de trabalhos em equipe, poucos aparelhos são suficientes para atender a uma grande empresa, mas se o uso é individual, pode ser necessária a aquisição de uma grande quantidade deles.

ESPECIFICAÇÕES PARA A SELEÇÃO DOS DETECTORES

Considere as rotinas de trabalho

Sobre as rotinas de trabalho, algumas questões devem ser respondidas para que possa ser determinada a quantidade de equipamentos necessários. São elas:

- Com qual periodicidade os detectores serão usados?
- Quantos trabalhos simultâneos podem ser realizados por diferentes equipes?
- Serão utilizados em ambientes grandes, ou em condições de trabalho que possam exigir o uso de mais de um equipamento simultaneamente?
- A falta de um aparelho funcional pode afetar a produção?

Ainda acontece de empresas terem um único detector de gás para atender a todas as equipes de trabalho, e isso gera vários problemas.

Quando uma empresa possui um único equipamento, nas situações em que existem várias frentes de trabalho simultâneas o aparelho não poderá ficar fixo em um único local para o monitoramento atmosférico, acabando por ser usado apenas para a avaliação inicial e a liberação dos trabalhos. Essa situação coloca os trabalhadores em risco e descumpre as normas atuais.

Diz o ditado popular que “quem tem dois, tem um, e quem tem um não tem nenhum”. É importante garantir que sempre haja um ou mais aparelhos funcionais, independentemente das ocorrências de manutenção e calibração realizadas fora da empresa. Isso também serve para os acessórios como linhas de amostragem, bombas elétricas etc.

Considere os tipos de ambiente

Para a aquisição do modelo adequado e a seleção dos acessórios que devem acompanhá-lo, algumas questões devem ser respondidas. São elas:

- Os ambientes com potencial risco atmosférico são ao ar livre, em locais fechados ou em espaços confinados?
- Dentro da variedade de ambientes, os espaços são horizontais ou verticais?
- Nos ambientes de formato vertical, qual a profundidade a ser analisada pelo detector?

As situações de trabalho que exigem o uso de detectores de gás não se restringem às rotinas em espaços confinados, mas mesmo que o foco fosse somente neles, a variedade de ambientes que podem ser classificados como espaço confinado é enorme. Dentro dessa variedade pode haver ambientes muito pequenos e apertados ou ambientes muito grandes e profundos. Isso vai determinar, por exemplo, quais acessórios serão necessários para atender às diferentes condições de avaliação e monitoramento. Por exemplo, definir qual o comprimento da linha de amostragem é necessário para avaliar os espaços mais profundos. Esse requisito vai determinar qual o conjunto a ser adquirido de detector, de bomba elétrica e de linha de amostragem.

ESPECIFICAÇÕES PARA A SELEÇÃO DOS DETECTORES

Considere o produto e o fornecedor

Qualidade do produto

Para um equipamento que será utilizado na proteção da saúde e da vida de trabalhadores, a qualidade é um critério obrigatório de seleção. Confiabilidade é a palavra-chave.

É um fato comum, e às vezes inconveniente, que os processos de compras realizados por empresas muitas vezes priorizam o menor preço. Desde que atenda aos requisitos básicos, qualquer modelo e marca de detector de gás que ofereça o menor preço será priorizado. Mas, como diz o ditado, “o barato pode sair caro”!

Um equipamento que ofereça um preço baixo em função da qualidade inferior, pode se mostrar frágil na utilização, vulnerável a interferências, com sensores de vida útil curta e uma manutenção demasiadamente frequente. Portanto, se a empresa vai fazer o investimento, que o faça com bons critérios para otimizar ao máximo o valor investido.

Devemos lembrar que não é somente o corpo do detector, composto por carcaça, circuito lógico e demais componentes eletrônicos, que vai determinar a qualidade do equipamento. A escolha das tecnologias dos sensores instalados no aparelho contribui para a maior ou a menor adequação e confiabilidade do detector de gás.

Seguem alguns dos critérios de qualidade que devem ser destacados:

- Facilidade de operação;
- Resistência do equipamento a impactos;
- O grau de proteção contra sólidos e líquidos;
- As opções de sensores e a possibilidade de trocá-los quando necessário;
- A variedade, a disponibilidade e o custo dos acessórios;
- A longevidade prevista para a vida útil dos sensores;
- A resistência dos sensores e do aparelho aos vários tipos de interferências;
- A certificação INMETRO de equipamentos elétricos para áreas classificadas;
- A qualidade do manual de instruções quanto ao conteúdo e à didática.

Qualidade do fornecedor

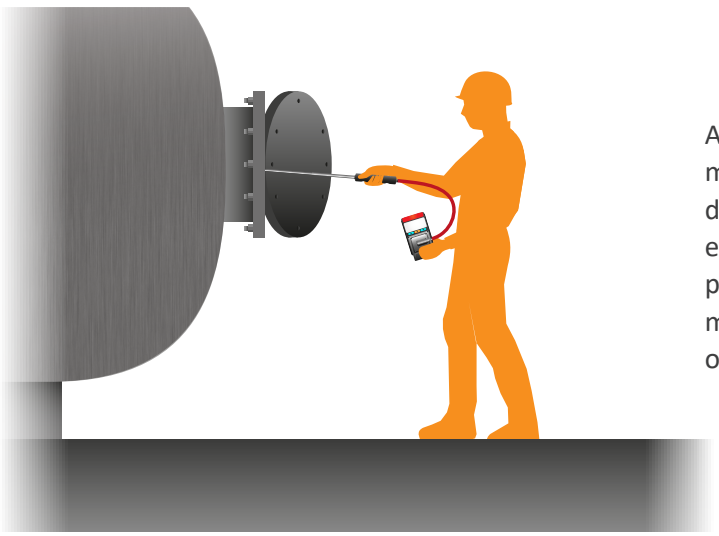
A seleção, o uso, os cuidados e a manutenção dos detectores de gás demandam conhecimento técnico. Portanto, é imprescindível que o comprador/usuário tenha ao seu dispor todo o apoio necessário. Esse apoio inclui a facilidade e a eficiência na comunicação com o fornecedor, a disponibilização de informações, a prontidão para o esclarecimento de dúvidas, a qualidade do serviço de manutenção e a rapidez e a eficiência na solução de problemas.

Utilização dos detectores

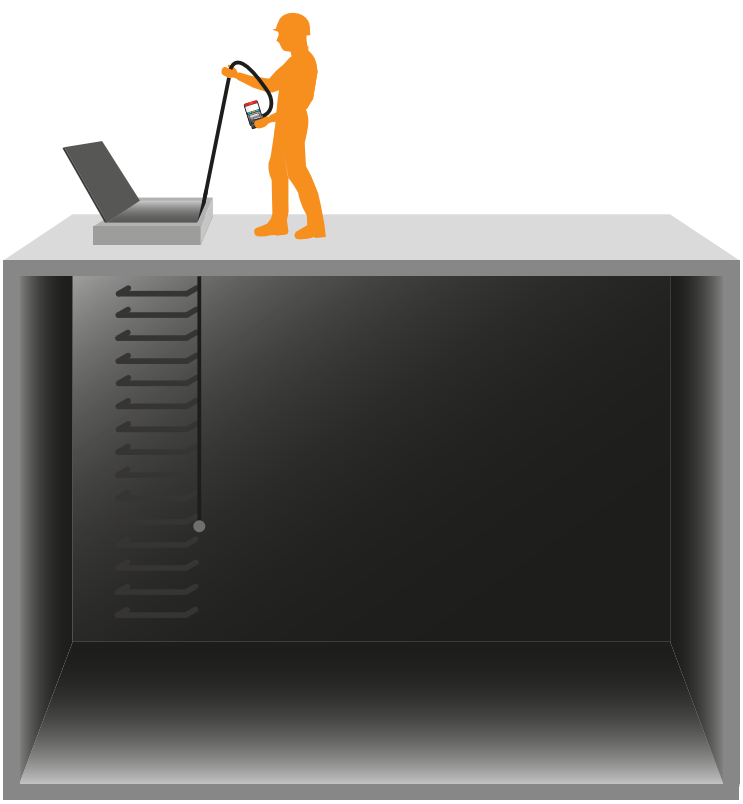
UTILIZAÇÃO DOS DETECTORES

Os aparelhos devem ser utilizados em todas as situações de trabalho onde haja riscos atmosféricos potenciais, que podem ser os mais variados. No entanto, é um fato que os detectores portáteis de gás são obrigatórios nas atividades em espaços confinados, e é por isso que as informações a seguir terão foco nessas atividades.

Inicie as avaliações sempre do lado de fora.



A avaliação do ambiente deve começar obrigatoriamente do lado de fora, mesmo que o trabalhador esteja equipado com sistemas de proteção respiratória, pois devemos lembrar que há um risco para o qual não há EPI, o de explosões.

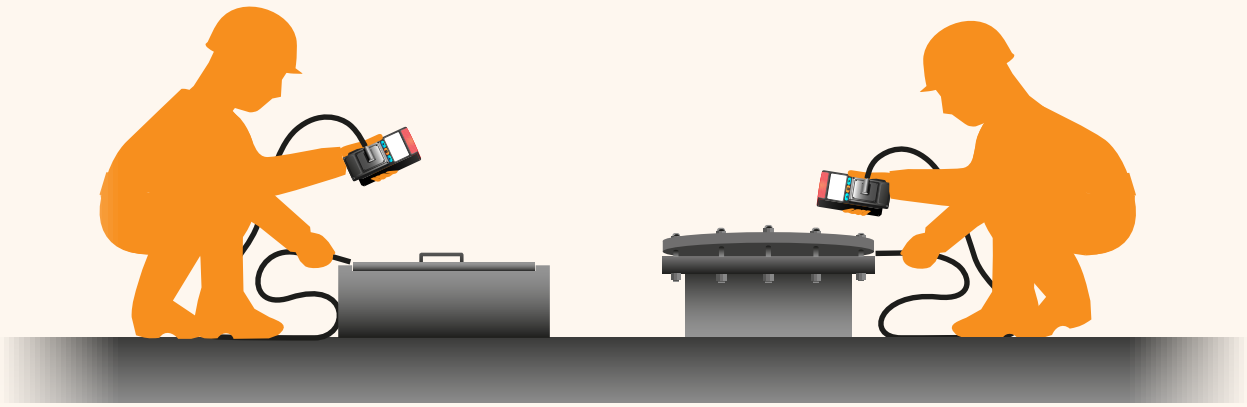


T90 Lembre-se de respeitar o tempo de resposta dos sensores.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

UTILIZAÇÃO DOS DETECTORES

Cuidado ao abrir as portas e as tampas das bocas de visita.

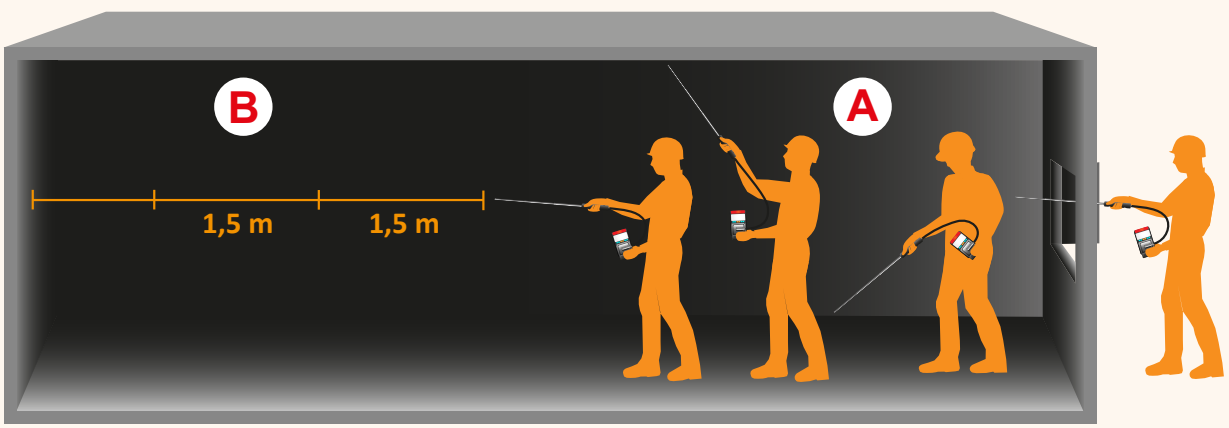


Lembre-se que os gases podem estar sendo contidos por essas portas e tampas, e ao abri-las eles poderão ser liberados e envolver o trabalhador que está fazendo a avaliação atmosférica.

As frestas devem ser utilizadas para sondar a presença de gases, e caso sejam tampas seladas, elas devem ser cuidadosamente abertas, criando uma pequena fresta com tamanho suficiente para a linha de sondagem.

As portas e tampas somente deverão ser abertas por completo após essa sondagem inicial indicar que a situação é segura.

Todo o ambiente deve ser avaliado.



A — Após a avaliação inicial, realizada do lado de fora, todo o ambiente deverá ser sondado para a presença de gases, seja a parte superior, a parte inferior, as laterais e os cantos.

B — A progressão dentro do espaço deve ser feita de forma cuidadosa, avaliando o ambiente à frente, com intervalos entre 1,2 metro e 1,5 metro.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

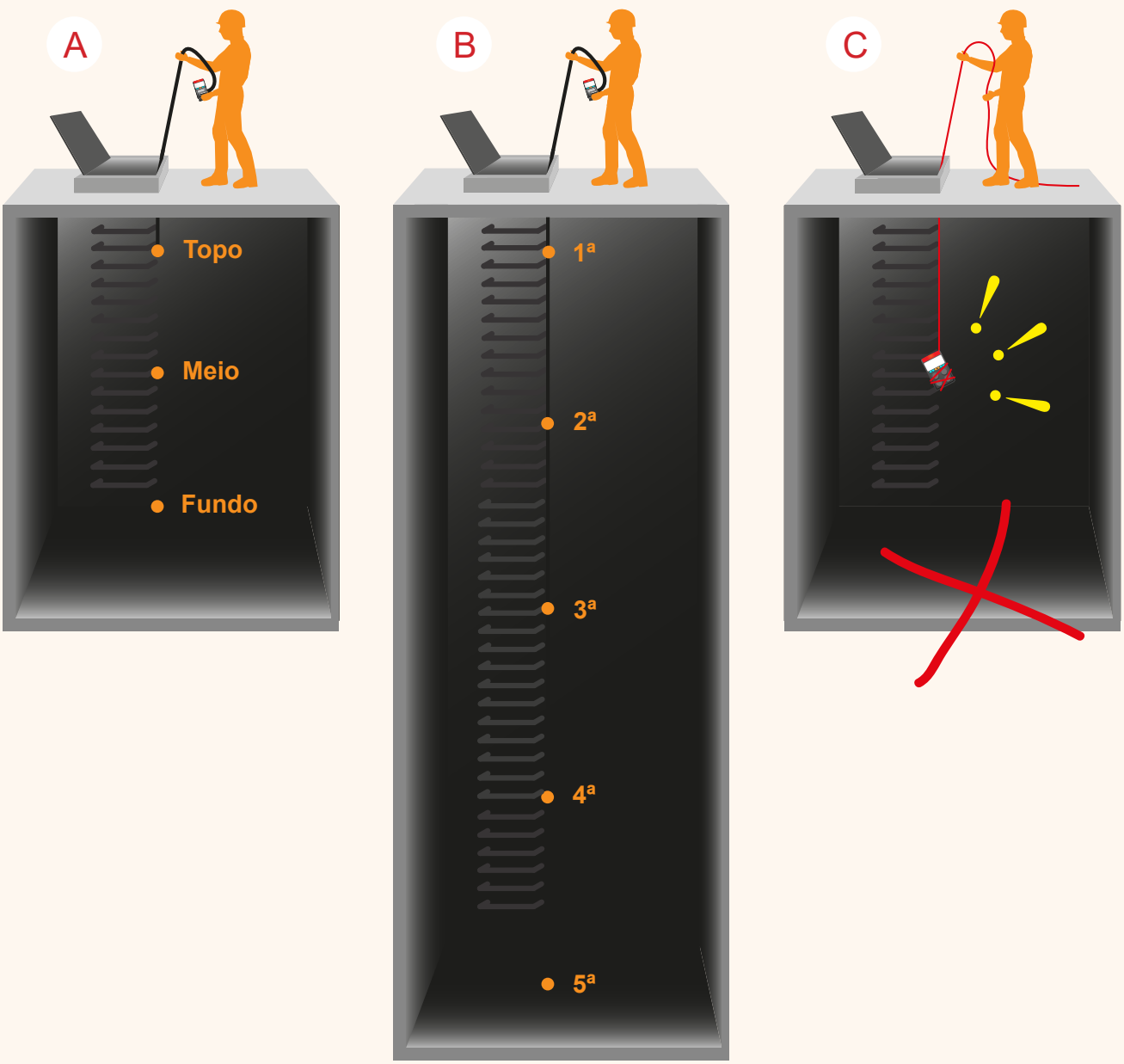
UTILIZAÇÃO DOS DETECTORES

Sonde toda a profundidade.

A Em espaços cujo acesso seja vertical e que não sejam muito profundos, faça ao menos três sondagens, cobrindo o topo, o meio e o fundo do ambiente.

B Em espaços muito profundos, faça quantas sondagens forem necessárias para cobrir toda a profundidade do ambiente, evitando intervalos muito distantes entre cada uma delas.

C Nunca desça o detector de gases pendurado para avaliar verticalmente uma atmosfera. Além de não conseguir fazer uma leitura direta do aparelho, o equipamento fica exposto a riscos, podendo sofrer graves danos.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

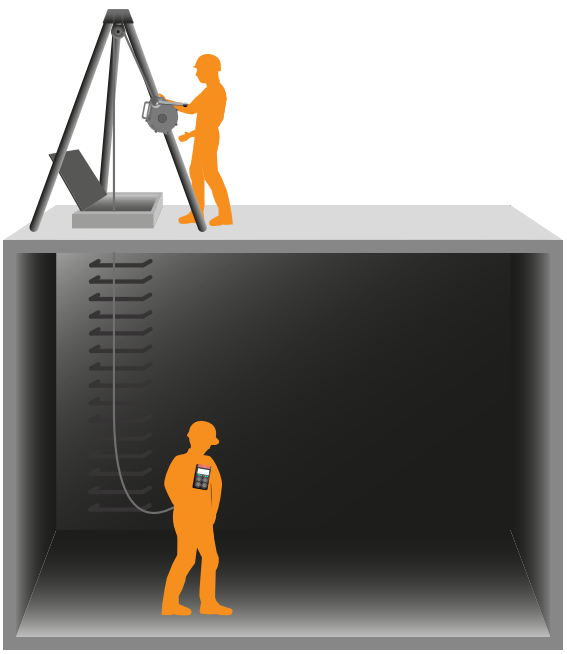
UTILIZAÇÃO DOS DETECTORES

Monitoramento

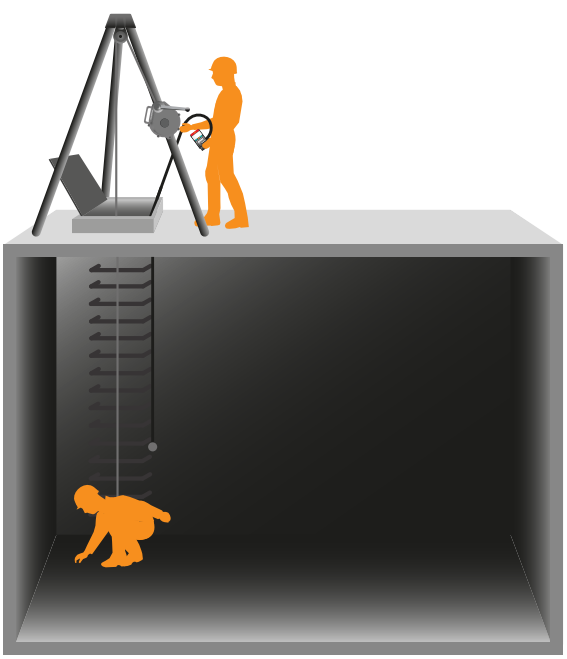
O processo de avaliação garante um ingresso seguro nos ambientes de trabalho, mas não basta para assegurar o bem-estar dos trabalhadores.

Dentro de ambientes fechados e com uma ventilação precária, existem os riscos do consumo do oxigênio, do vazamento ou da formação de gases e vapores tóxicos e/ou inflamáveis. Portanto, é obrigatório que a atmosfera seja monitorada continuamente, sem interrupções, durante todo o tempo de permanência dos trabalhadores no ambiente de risco.

Na eventualidade do detector de gases parar de funcionar, é obrigatório que os trabalhadores abandonem o local imediatamente.



O detector de gás pode ser portado por um dos trabalhadores no local das atividades. Caso haja pessoas trabalhando distantes umas das outras é necessário o uso de um número maior de aparelhos, garantindo que todos os locais de trabalho sejam cobertos pelo monitoramento atmosférico.



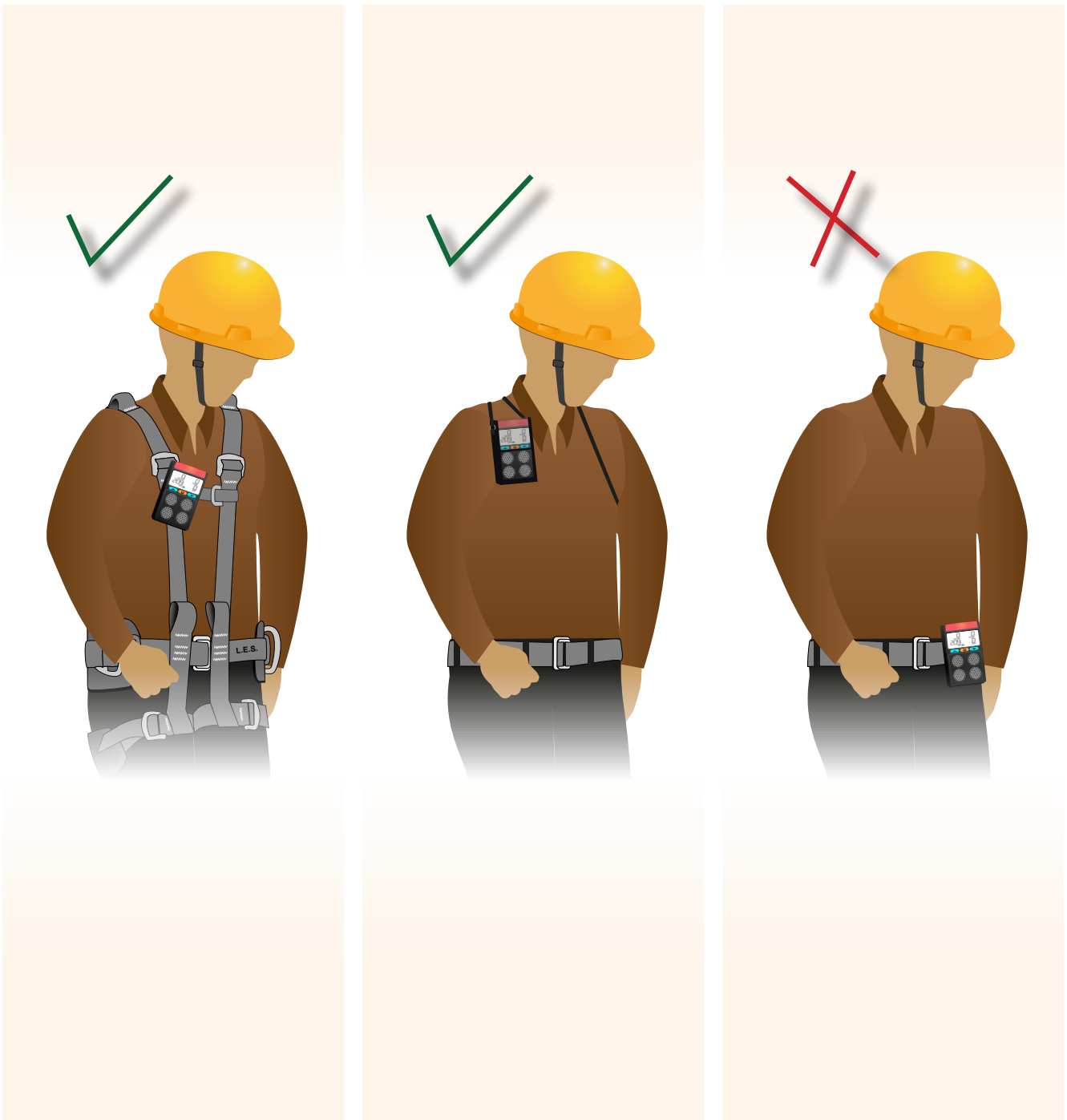
O monitoramento atmosférico pode ser feito pelo trabalhador na função de vigia (NR 33), desde que seja usada uma linha de amostragem e uma bomba de sucção, e que o ar capturado e analisado seja o do local onde encontram-se os trabalhadores.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

UTILIZAÇÃO DOS DETECTORES

USO INDIVIDUAL

Ao usar o detector de gás para proteção individual, mantenha-o sempre próximo das vias aereas.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Capítulo 5

Ventilação em espaços confinados

O foco deste capítulo

O conteúdo deste manual é dirigido para as rotinas de trabalhos em espaços confinados, e neste capítulo o foco será a ventilação mecânica aplicada com equipamentos portáteis.

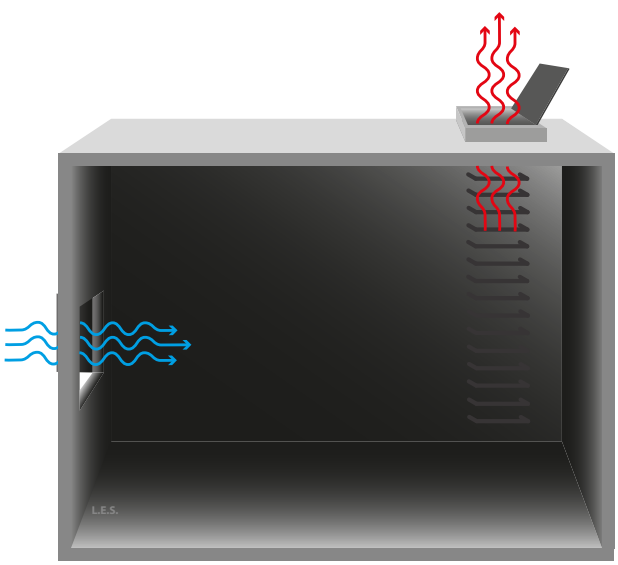
VENTILAÇÃO

Por causa de diferenças de pressão e temperatura, o ar atmosférico move-se naturalmente pelo nosso planeta. Essa movimentação chama-se vento, cujo efeito favorece a dissipação de gases, a renovação de atmosferas dentro de ambientes e o controle da temperatura.

A renovação do ar em ambientes fechados é imprescindível para manter a composição do ar respirável, pois mantém o volume adequado de oxigênio, evita que gases se acumulem e ajuda no controle da temperatura.

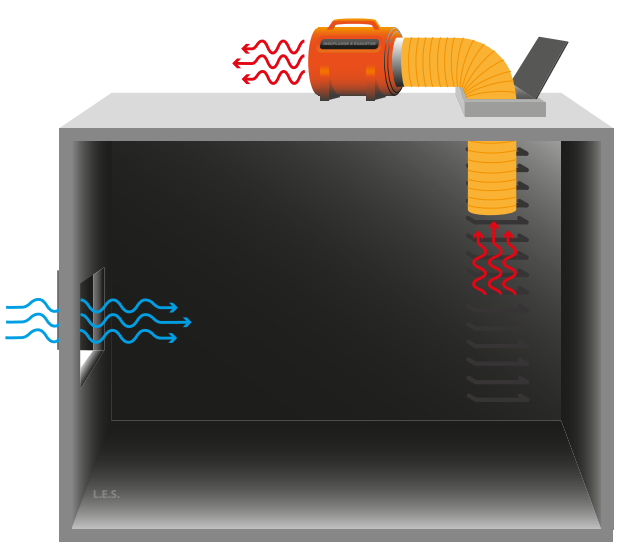
Nos espaços confinados o fator ventilação adquire uma importância maior, já que esse tipo de ambiente não costuma favorecer a renovação natural do ar.

Uma corrente de ar acontece por fenômenos naturais, como a diferença de pressão e de temperatura dentro de um ambiente. Porém, em espaços confinados, por causa do tamanho, formato e a restrição de aberturas disponíveis, a ventilação natural pode ser precária ou inexistente. Por essa razão e pelo fato de os trabalhadores não terem controle sobre os fatores naturais, é recomendável a adoção da ventilação mecânica (uso de ventiladores), com a qual é possível planejar e controlar a qualidade do ar em um ambiente.



VENTILAÇÃO NATURAL

Ela raramente se apresenta como uma solução ideal, porque depende de vários fatores que os trabalhadores não podem controlar, como temperatura, pressão, movimentação do ar no meio externo, a posição das entradas e saídas e as características construtivas.



VENTILAÇÃO MECÂNICA

É uma solução eficiente, pois pode ser planejada em função da avaliação do ambiente e dos gases.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

POR QUE VENTILAR?

Este capítulo terá como foco os processos de ventilação nas atividades em espaços confinados, porque esses ambientes não foram projetados para a ocupação humana contínua, e por esse motivo costumam desfavorecer a ventilação natural.

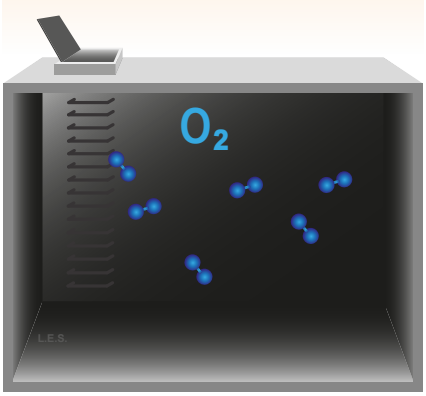
O fato desses ambientes apresentarem uma atmosfera que não se renova naturalmente gera alguns graves problemas de segurança para os trabalhadores. O simples fato de as pessoas respirarem em um ambiente fechado pode levar a uma diminuição perigosa da concentração de oxigênio, já que, a cada ciclo de respiração, cada pessoa absorve parte do oxigênio presente no ar e libera o gás carbônico. Dependendo do tamanho do ambiente, do número de pessoas e do tempo transcorrido, a qualidade do ar ambiente irá se deteriorar, podendo alcançar limites perigosos e até mesmo fatais.

Mas a concentração de oxigênio dentro de um espaço confinado não é a única preocupação. Temos que considerar que os ambientes podem armazenar, de forma proposital ou acidental, substâncias orgânicas e produtos químicos que podem contaminar a atmosfera do ambiente, tornando-os asfixiantes, tóxicos ou inflamáveis.

Uma vez identificado o perigo, uma das técnicas mais empregadas para controlar ou anular o risco é a ventilação. Por meio dela, contaminantes podem ser diluídos ou eliminados de dentro do espaço confinado.

Além dos gases e dos vapores, a ventilação também pode ser usada para eliminar ou controlar particulados (poeiras, fibras e fumos), controlar a temperatura de um ambiente fechado ou eliminar fortes odores.

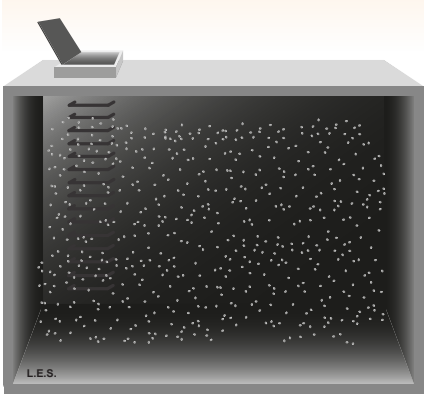
Garantir níveis seguros de oxigênio.



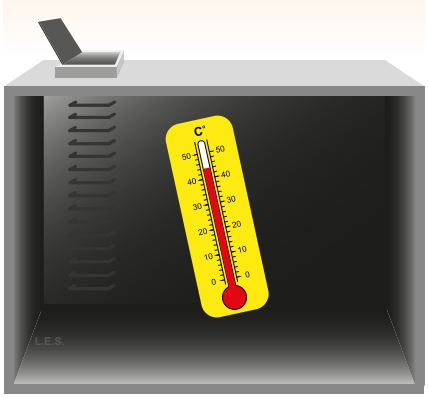
Eliminar ou controlar concentrações de gases tóxicos ou asfixiantes.

Eliminar ou controlar concentrações de gases inflamáveis.

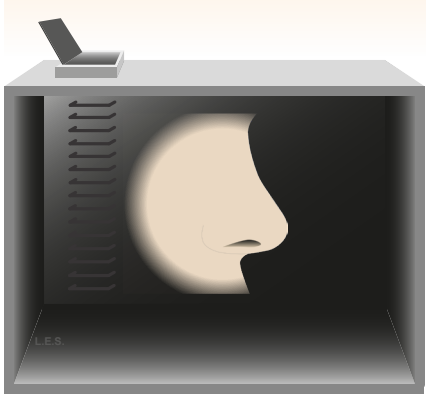
Eliminar ou controlar particulados.



Controlar a temperatura ambiente.



Eliminar ou controlar fortes odores.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

VENTILAÇÃO MECÂNICA

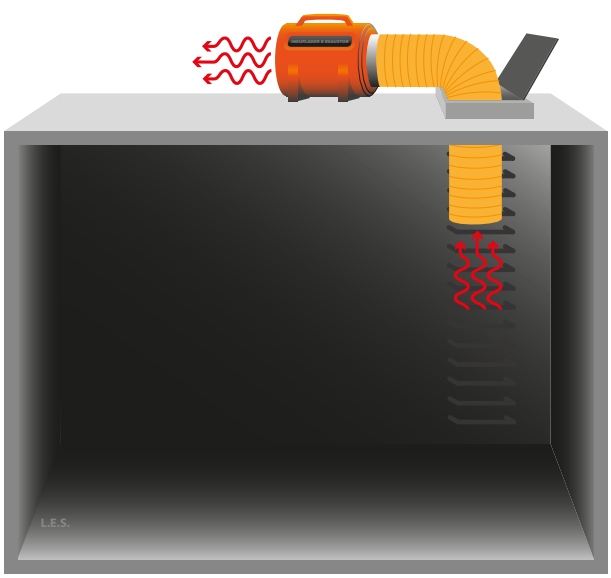
Dentro de certos limites de volume dos espaços, o uso de ventiladores portáteis permite planejar a ventilação como solução para problemas específicos.

Quando consideramos a ventilação mecânica, existem duas formas diferentes de ventilar um espaço confinado. A primeira coleta ar do meio externo e o insufla (sopra) para dentro do espaço confinado. A segunda exaure (suga) o ar do ambiente fechado e o lança para o meio externo.

A seleção de um ou de outro método depende da avaliação do ambiente, do trabalho a ser executado e das características do contaminante.

INSUFLAÇÃO (sopra o ar)

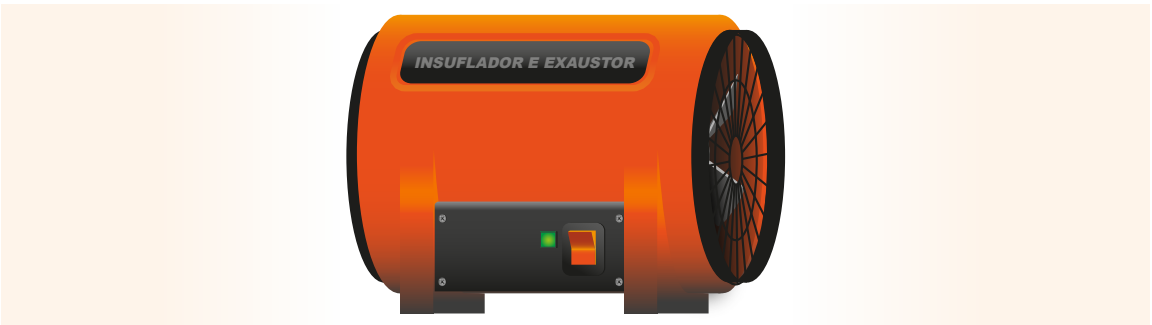
Coleta o ar fresco fora do espaço e o lança para dentro do ambiente.



EXAUSTÃO (suga o ar)

Capitura gases dentro do espaço e os lança para fora do ambiente.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.



Devemos chamá-los de EXAUSTORES ou VENTILADORES?

O mercado brasileiro adotou como termo genérico a palavra exaustor para denominar os equipamentos de ventilação em espaços confinados. No entanto, podemos considerar essa escolha um equívoco.

Um equipamento construído para mover ar é denominado ventilador. O ventilador pode ser usado no modo de insuflador, em que sopra o ar em uma direção, ou pode funcionar como um exaustor, modo em que suga o ar. Então, denominar os ventiladores como exaustores é atribuir a eles um único modo de uso. Além disso, existem vários modelos de ventiladores no mercado brasileiro que foram construídos para serem usados preferencialmente ou unicamente como insufladores.

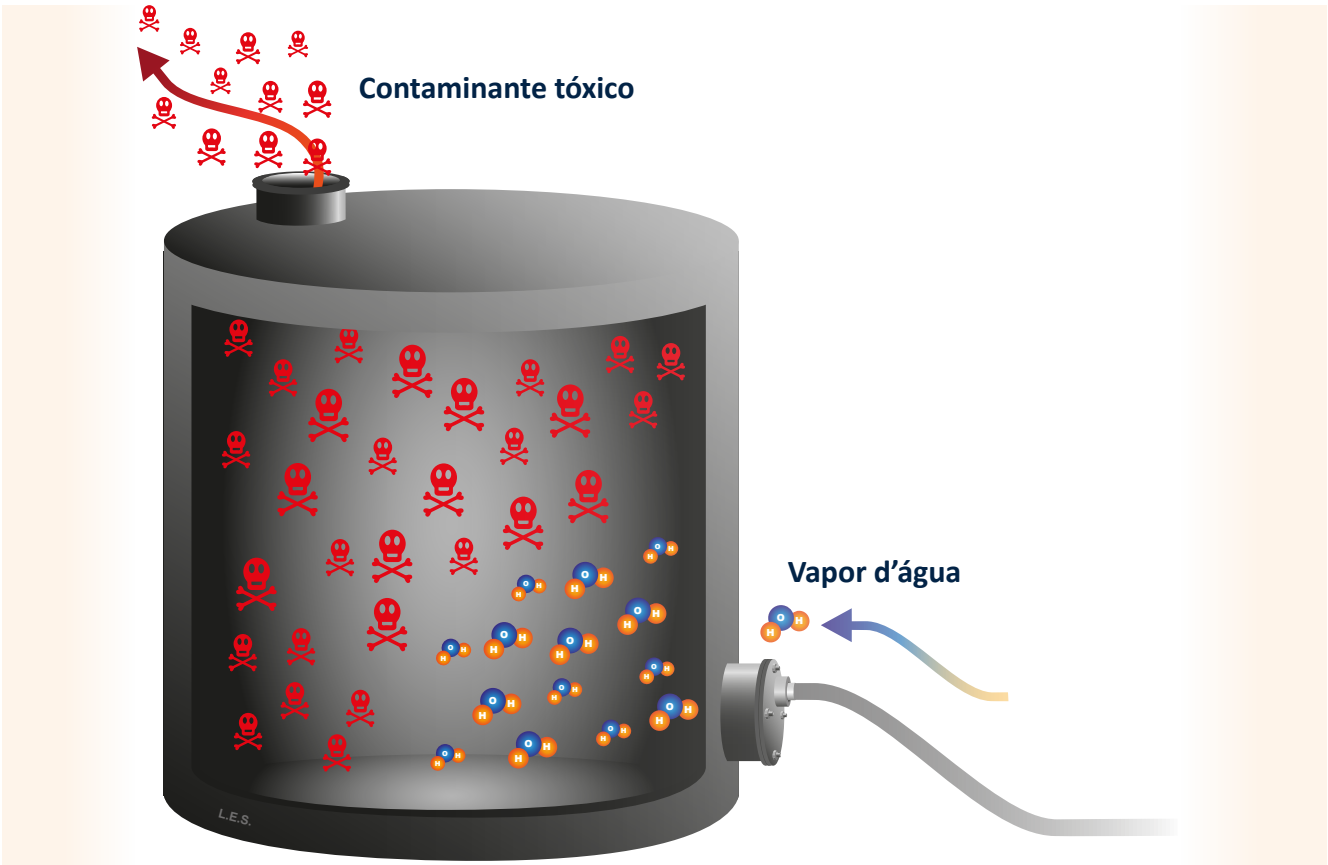
Diante desses fatos, podemos concluir que usar o termo exaustor de forma genérica é inadequado. O termo mais apropriado é ventilador.

Os termos insuflador e exaustor devem ser usados para designar o modo de operação do ventilador.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PURGA

Os métodos de purga visam purificar um ambiente contaminado. Assim como os métodos de simples ventilação, o processo de purga visa deixar segura uma atmosfera de um ambiente de trabalho. Mas a diferença principal é que a purga é um procedimento que obrigatoriamente deve ser executado antes do ingresso dos trabalhadores no espaço confinado. A outra diferença é que o agente purgador, ou seja, aquilo que irá ocupar o lugar do contaminante expulsando-o para fora do ambiente, não se limita ao ar, havendo as opções de vapor d'água ou de um gás inerte.



O agente a ser usado no processo de purga depende do tipo de contaminante e do ambiente a ser purificado.

Sobre o uso dos gases inertes, que podem ser, por exemplo, o nitrogênio (N) ou o dióxido de carbono (CO_2), a Norma Regulamentadora número 33 e norma técnica ABNT NBR 16577:2017 definem esse processo como inertização. Ele é recomendável para as atmosferas inflamáveis, pois expulsa o gás inflamável ao mesmo tempo em que ocupa o lugar do oxigênio, eliminando simultaneamente o combustível e o comburente. Dessa forma, embora ela anule o risco de incêndio e explosão, cria uma outra condição perigosa, que é tornar a atmosfera IPVS, por causa da ausência de oxigênio.

Como este capítulo tem como foco as técnicas de ventilação, não nos aprofundaremos nos processos de purga.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO

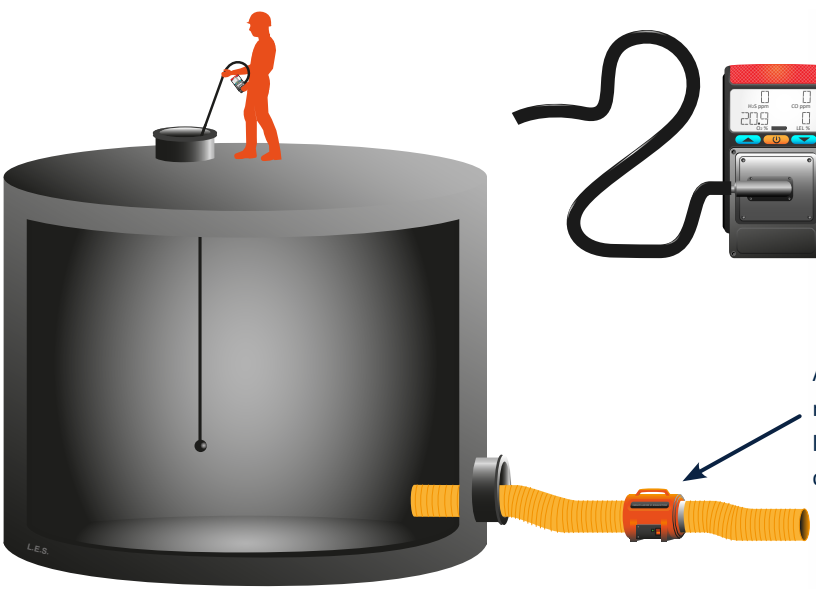
O processo de ventilação, seja qual for o método, é usado para corrigir problemas que podem ser encontrados no interior de um espaço confinado. Então, a adoção da ventilação vem após uma cuidadosa avaliação do ambiente. Por exemplo, a temperatura e a sensação térmica dentro de um espaço serão avaliadas por um medidor de estresse térmico, também conhecido como termômetro de globo (bulbo). A concentração de oxigênio presente na atmosfera do ambiente ou a presença de gases tóxicos, de gases asfixiantes ou de gases inflamáveis será avaliada com um detector de gases.

Medidor de Estresse Térmico

Para medir a sensação térmica.

Os detectores de gás são essenciais para lidar com a concentração de oxigênio e a presença de gases perigosos, seja numa avaliação inicial, antes do ingresso dos trabalhadores no espaço confinado, como também para o monitoramento das condições atmosféricas ao longo do período de trabalho.

A eficiência da ventilação, em se tratando do controle de gases, só pode ser avaliada por meio dos detectores de gases. Lembrando que no momento das medições a ventilação deverá estar desligada para não gerar um falso resultado, fazendo com que, acidentalmente, o detector avalie o ar que está entrando no espaço e não o que está dentro dele.



Detector de gás

Para detectar e medir a concentração de gases.

As avaliações feitas para medir a eficiência da ventilação devem ser realizadas com o ventilador desligado.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

VAZÃO

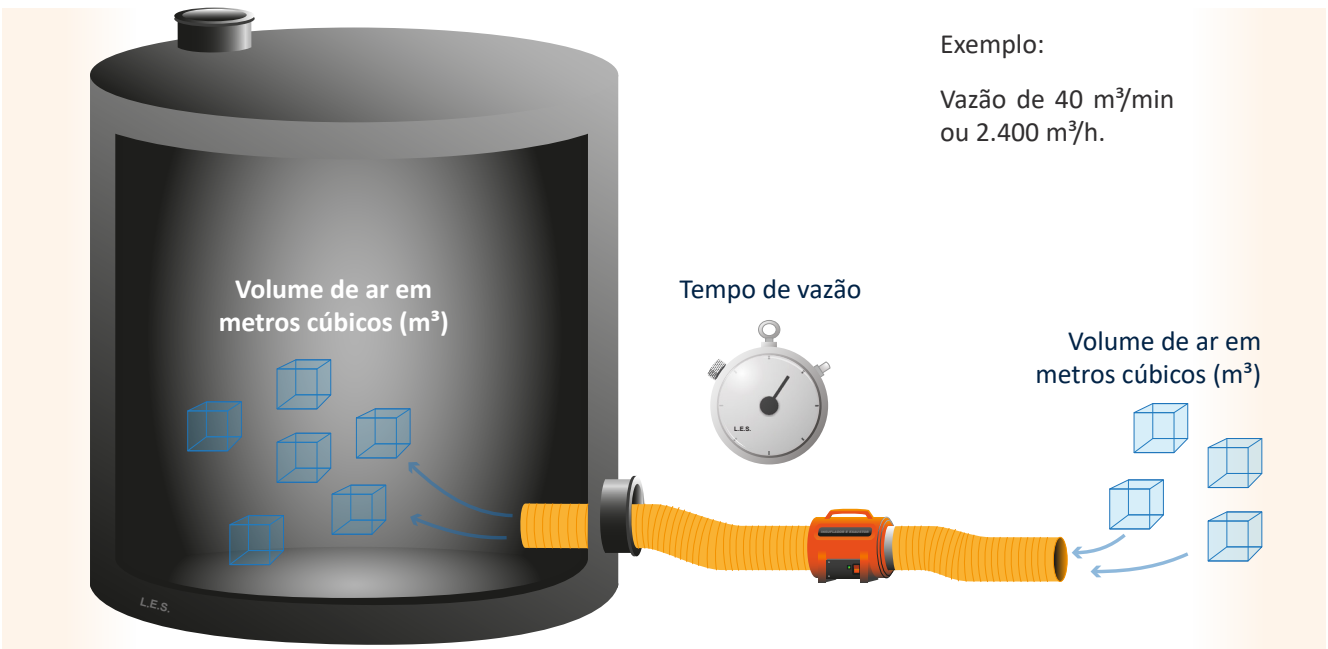
Uma boa ventilação é o resultado de uma avaliação do ambiente, que envolve os tipos de gases, e do planejamento para a correção do problema ou da manutenção das boas condições.

Como a ideia de ventilar envolve trocar uma atmosfera perigosa por uma atmosfera segura, eliminar gases perigosos antes que se acumulem, ou promover a renovação constante do ar de um ambiente, fatores como o volume de um espaço confinado e a capacidade do ventilador em mover os gases são essenciais para uma ventilação eficiente.

No planejamento de uma ventilação, especialmente a inicial, é importante o cálculo do tempo de ventilação para que a atmosfera seja renovada. Os cálculos indicarão não somente o tempo, mas também o dimensionamento do equipamento ou dos equipamentos (volume x capacidade do ventilador).

Esses cálculos necessitam de dois fatores primordiais, que são o volume interno do ambiente e a capacidade de vazão do ventilador.

Vazão do ventilador



Vazão é o volume de um determinado fluido que passa num duto por um determinado intervalo de tempo, ou seja, uma certa quantidade de ar passando por um duto de ventilação por um determinado tempo.

Os fabricantes e os importadores dos equipamentos de ventilação devem informar a capacidade de vazão dos equipamentos que fornecem. Alguns fornecem a capacidade de vazão em metros cúbicos por minuto (m³/min), mas a maioria utiliza a unidade de metros cúbicos por hora (m³/h).

Entre os diferentes modelos disponíveis no mercado brasileiro, as capacidades podem variar entre 1.200 m³/h a 6.700 m³/h.

Ao conhecer o volume interno de um espaço confinado, é possível saber a quantidade de ar dentro desse ambiente. Com a informação sobre a capacidade de vazão do equipamento é fácil calcular o tempo necessário para a renovação de toda a atmosfera do espaço.

Mais adiante serão abordados os métodos e o cálculo de ventilação.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

A VAZÃO REAL

O que estamos chamando de vazão real é aquela com a qual se pode contar no momento do uso, sob as condições ambientais e de utilização específicas.

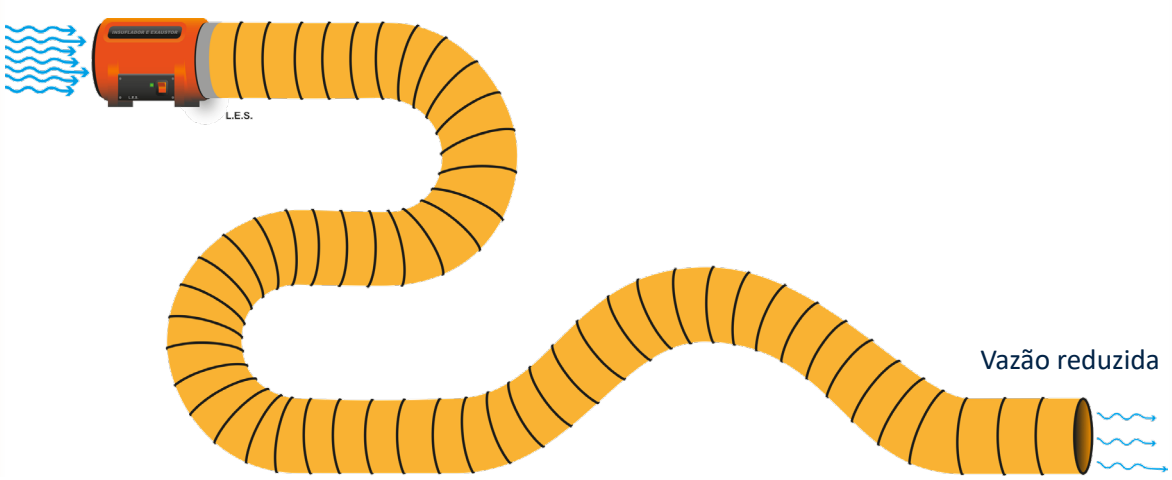
Fatores ambientais como umidade relativa do ar, temperatura e pressão atmosférica interferem na vazão do ventilador. A variação da energia elétrica e o desgaste do motor e das pás do ventilador também vão interferir na performance do equipamento. Mas o mais impactante é o uso dos dutos de ar.

Muitos fornecedores de ventiladores no Brasil informam a capacidade de vazão dos equipamentos em condição ideal, chamada de vazio (somente o ventilador e sem o uso de dutos), ou seja, sem qualquer fator de resistência para o fluxo de ar. Porém, para a ventilação em espaços confinados é praticamente impossível usar o ventilador sem dutos acoplados. Alguns fabricantes e importadores informam a vazão com o duto acoplado. Alguns considerando eventuais dobras, outros apenas com o duto reto. Isso deve ser considerado um avanço importante, mas insuficiente para a operação do equipamento.

Ao se usar um duto, e dependendo da trajetória desse duto, a resistência à passagem do ar poderá ser grande e a vazão muito reduzida. Então, para fins de cálculo, o valor (vazio) informado por muitos fabricantes serve apenas de base, sobre o qual deverá ser aplicada a redução da vazão em função da condição de uso, para só então aplicar o cálculo de tempo de ventilação ou definir o equipamento, para finalmente escolher a capacidade do ventilador ou a quantidade de ventiladores necessária.

A vazão informada por muitos fabricantes é obtida numa condição em que não há resistências ao fluxo de ar.

Ao acoplar um duto no ventilador, a vazão será afetada pela superfície interna do tubo, pelo seu diâmetro, pelo seu comprimento e pelas curvas e dobras do percurso.



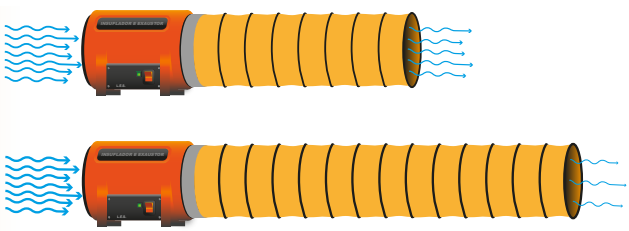
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

REDUÇÃO DE VAZÃO

Como abordado na página anterior, a perda de vazão vai ocorrer toda vez em que o ventilador for usado com um ou mais dutos acoplados, e eles são essenciais na ventilação de espaços confinados.

Mesmo um duto instalado de forma reta, sem curvas ou dobras, vai gerar uma redução na vazão pela resistência que as paredes internas vão gerar sobre o fluxo de ar.

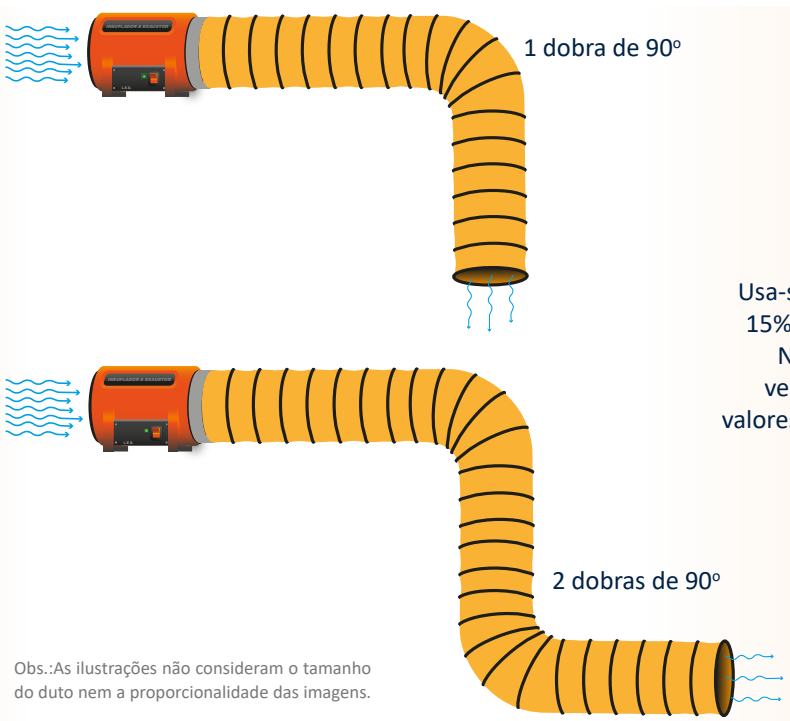
O tipo de material utilizado na construção do duto, que vai oferecer uma superfície mais rugosa ou lisa, o diâmetro do duto e o comprimento do duto vão afetar a vazão. Considerando a variedade desses fatores a perda de vazão em dutos longos, de até 15 metros, pode ser entre 9% e 29%.



⚠ Dutos longos (até 15 metros) podem gerar uma diminuição da vazão entre 9% e 29%.

Dobras e curvas no percurso do duto geram uma redução significativa de vazão e são, praticamente, inevitáveis. Como exemplo, podemos considerar que a instalação de um ventilador com duto de ar em um tanque vertical pode formar de três a quadro dobras.

Não há um valor padrão para a taxa de perda de vazão. Os percentuais de perdas se diferenciam entre as várias fontes de informação, mas é comum atribuir a cada dobra de 90º uma perda de 15%. Isso significaque que duas dobras de 90º geram sobre o sistema de ventilação uma perda de 30%. Contudo, há informações de catálogos de ventiladores importados indicando uma perda de 39% com uma dobra e 57% com duas dobras de 90º.



⚠ Usa-se como padrão a perda de 15% de vazão para cada dobra. No entanto, há catálogos de ventiladores que apresentam valores diferentes, ultrapassando os 57% com duas dobras.

Obs.:As ilustrações não consideram o tamanho do duto nem a proporcionalidade das imagens.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

REDUÇÃO DE VAZÃO

O fato de os percentuais de redução da vazão variarem tanto é o resultado do conjunto de fatores que interferem no deslocamento dos gases. São eles:

As propriedades do gás	No capítulo sobre química foi abordado que o deslocamento de um gás é determinado pelas suas propriedades, entre as quais a viscosidade.
Os fatores ambientais	Fatores como umidade, temperatura e pressão influenciam o estado dos gases e a performance dos ventiladores.
Pressão estática do ventilador	Quanto maior a pressão produzida pelo equipamento, menor será a redução da vazão no duto.
Características do duto	O material do qual é feito, a superfície interna, o diâmetro e o comprimento do duto vão gerar uma maior ou menor resistência à passagem dos gases.
A geometria no percurso do duto	As dobras e as curvas, sejam elas no plano horizontal ou no plano vertical, vão produzir resistência ao deslocamento dos gases.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

ENSAIOS DE VENTILAÇÃO

Realizado em maio de 2024 no centro de treinamento da Suphortte

Com a intenção de trazer um pouco mais de “luz” para a questão da redução de vazão em diferentes condições de uso, no mês de maio de 2024 cinco empresas se uniram para realizar ensaios de ventilação e tentar confirmar ou refutar dados em comum.

Uma dezena de empresas foram convidadas a participarem desse evento, mas somente cinco aceitaram ou puderam comparecer. São elas: Amprot; Kaefy ; Vertical; Ranger; Suphortte.

O tempo investido e o número de modelos usados nos ensaios foram limitados. Portanto, os resultados não devem ser considerados conclusivos.

Houve dificuldades em estabelecer uma metodologia confiável, e talvez por causa disso parte dos testes apresentaram dados inconsistentes. A segunda etapa dos ensaios obteve resultados mais fidedignos, e são esses os dados compartilhados aqui.

Foram realizados seis testes com os ventiladores. Um dos modelos não permitiu ser usado na posição de exaustor, pois exigia um duto específico e ele não estava disponível no dia dos ensaios. O segundo modelo foi submetido aos seis testes na posição de insuflador (soprar o ar), e na sequência foi submetido aos mesmos testes na posição de exaustor (sugar o ar). Foi este segundo modelo que propiciou os dados compartilhados.

Equipamentos usados para as medições

Foto catálogo

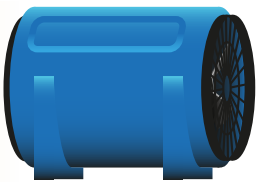
Anemômetro de propriedade da Amprot. Calibrado antes dos ensaios.

Foto André Mansano

Suporte desenvolvido pela Kaefy especialmente para os ensaios.

ENSAIOS DE VENTILAÇÃO

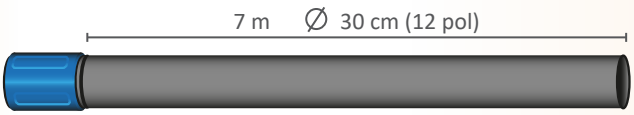
SEQUÊNCIA DE ENSAIOS E RESULTADOS



∅ 30 cm (12 pol)

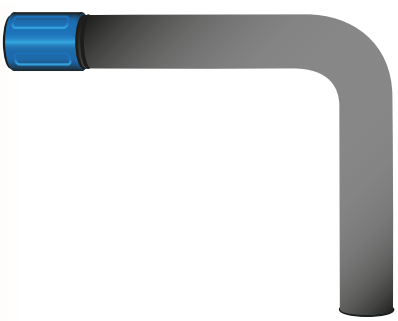
Medição sem duto (vazio)

Vazão	Perda
100%	0%



Duto reto no plano horizontal

Modo	Vazão	Perda
Insuflação	98,42 %	1,58 %
Exaustão	80,8 %	19,2 %



7 m
∅ 30 cm (12 pol)

1 dobra de 90º no plano horizontal

Modo	Vazão	Perda
Insuflação	88,92 %	11,08 %
Exaustão	68,53 %	31,47 %

7 m
∅ 30 cm (12 pol)

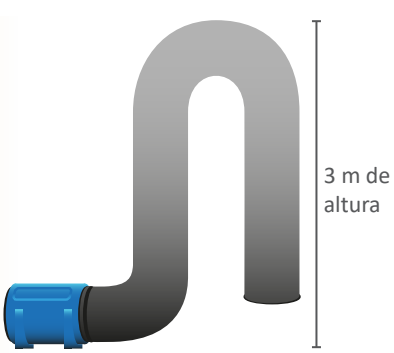
2 dobras de 90º no plano horizontal

Modo	Vazão	Perda
Insuflação	71,11 %	28,89 %
Exaustão	58,37 %	41,63 %

7 m
∅ 30 cm (12 pol)

Curva de 180º no plano horizontal

Modo	Vazão	Perda
Insuflação	83,51 %	16,49 %
Exaustão	64,96 %	35,04 %



7 m
∅ 30 cm (12 pol)

1 dobra de 90º e um curva de 180º na vertical

Modo	Vazão	Perda
Insuflação	68,07 %	31,93 %
Exaustão	39,4 %	60,6 %

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

ENSAIOS DE VENTILAÇÃO

Considerações

Os percentuais de redução de vazão obtidos nos ensaios de maio de 2024 não são universais. Eles não servem para outros modelos de ventiladores, e nem para dutos com comprimento, diâmetros e características diferentes do usado nos ensaios.

Os resultados dos ensaios serviram para demonstrar a variação de vazão no uso de ventiladores com dutos. Demonstraram que um mesmo equipamento, dependendo de como é utilizado, pode apresentar uma redução de vazão entre 1,6% e 60,6%. Na realização de uma ventilação pode haver uma perda de vazão significativa, e que não pode ser negligenciada.

Para os equipamentos utilizados nesses ensaios, o valor comumente adotado de 15% para cada dobra de 90º foi confirmado como válido, já que os resultados obtidos apresentaram aproximadamente 12% para uma dobra e 29% para duas dobras. Mas, isso plano horizontal. Com o duto na posição vertical, por causa da ação da gravidade, a resistência esperada é maior.

Outras geometrias, como uma curva de 180º, geram uma redução maior que 16% no modo insuflação e 35% no modo exaustão. Com o duto na posição vertical, com uma dobra de 90º e uma curva de 180º, a redução foi de 32% no modo insuflação e mais de 60% no modo exaustão.

Uma descoberta relevante desses ensaios foi constatar que a resistência ao fluxo de ar é maior no modo exaustor. Os seis ensaios realizados no modo exaustão apresentaram perdas de vazão muito mais significativas que as obtidas no modo insuflação.

O que pode justificar essa diferença, numa mera suposição, é que o fluxo de ar na exaustão gera uma pressão negativa dentro do duto. Como o duto é muito flexível, essa pressão negativa reduz o seu diâmetro e consequentemente aumenta a resistência à passagem do ar.

Conclusões

O ideal é que a organização que opera os equipamentos de ventilação tenha como testar a vazão. Lembrando que as condições ambientais estão entre os fatores que interferem na performance do ventilador. Espera-se diferenças entre plantas industriais localizadas no litoral (nível do mar, com clima quente e úmido) e as localizadas em regiões serranas (pressão atmosférica menor, com clima seco e frio).

Os ensaios em diferentes condições de uso, conforme os espaços confinados da instalação exigem, vão oferecer a variação de redução da vazão, e a partir dos dados obtidos, poderão ser adotados os valores de maior redução como padrão para os cálculos de ventilação.

Em ventilação, quanto mais tempo de operação mais seguro é o ambiente, por isso, se for para errar, que seja para o pior cenário. É melhor estimar um espaço maior do que realmente é. É melhor estimar uma vazão menor do que realmente é. Isso poderá levar a um aumento do tempo de ventilação, o que não é ruim.

O inconveniente de ter um equipamento que, sob determinadas condições de uso, oferece uma vazão muito reduzida, é não conseguir cumprir as trocas de ar planejadas para cada hora de operação.

Tipos de ventiladores

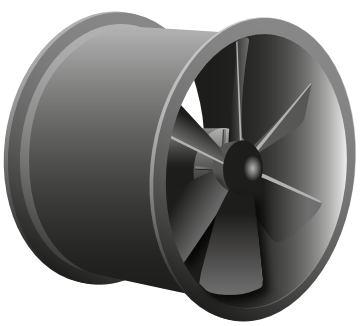
TIPOS DE VENTILADORES

Entre a ventilação natural e a ventilação mecânica, a segunda opção permite o planejamento e o controle do processo. Com a ventilação mecânica é possível adequar a solução à necessidade específica.

Tudo começa com a identificação do problema. O planejamento da ventilação tem início com a avaliação das condições atmosféricas percebidas ou esperadas. Por exemplo, a renovação do ar para que não falte oxigênio, o controle de particulados, a diluição de substâncias tóxicas ou a eliminação de gases inflamáveis. Para a adequação da ventilação a uma dessas situações, o primeiro passo é selecionar o tipo certo de ventilador.

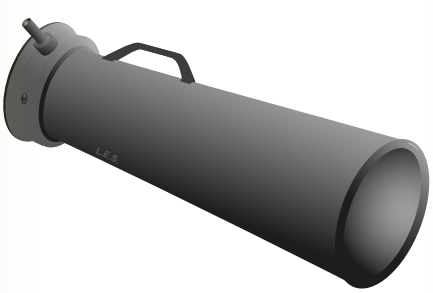
Existe uma variedade de modelos disponíveis no mercado brasileiro. Existem, por exemplo, os modelos axiais, que oferecem uma hélice girando sobre um eixo, e com o fluxo de ar paralelo a esse eixo. Existem também os modelos centrífugos, cuja entrada de ar é perpendicular ao equipamento e que, por causa do seu mecanismo interno, geram um aumento da velocidade do fluxo de ar que sai do seu bocal. Também existe uma tecnologia que não apresenta partes móveis, pois usa um princípio da física conhecido como “Efeito de Venturi”, constituído de um corpo no formato de cone e uma linha de ar comprimido em uma das extremidades.

A seguir descreveremos melhor cada um desse tipos.



TUBO AXIAL

CENTRÍFUGO



VENTURI

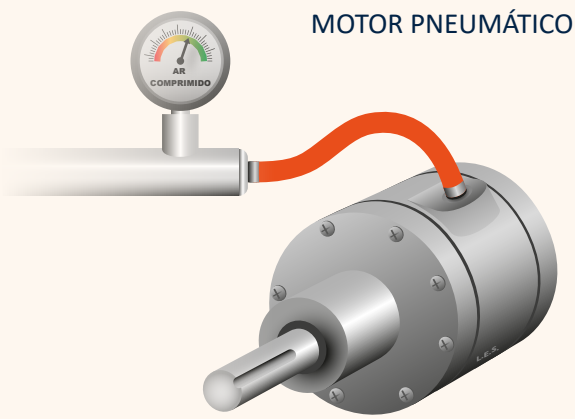
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

TIPOS DE VENTILADORES

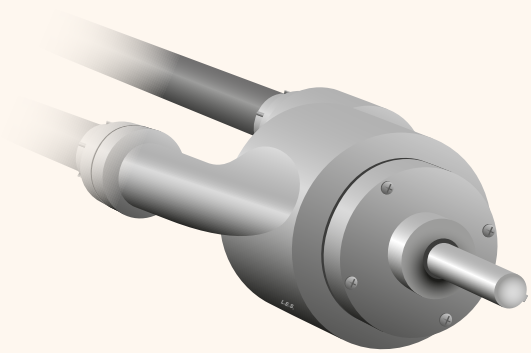
Motorização

Existe uma variedade de motores e fontes de energia. Por exemplo, um ventilador axial (eixo e hélice) pode usar um motor elétrico para funcionar, ou pode ser movido por um sistema pneumático (ar pressurizado), por um sistema hidráulico (água pressurizada) ou por um motor a combustão.

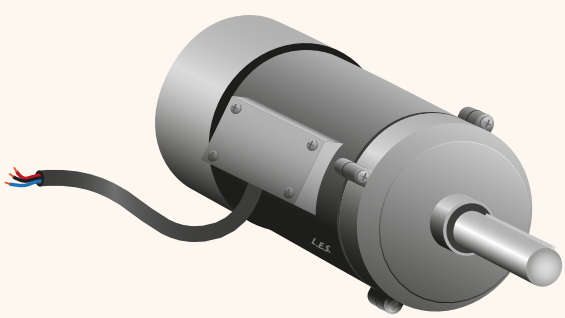
MOTOR PNEUMÁTICO



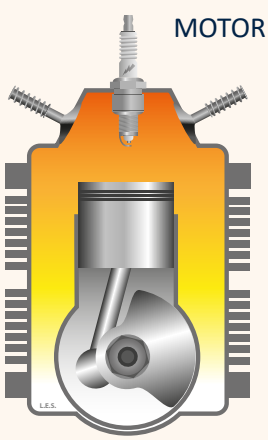
MOTOR HIDRÁULICO



MOTOR ELÉTRICO



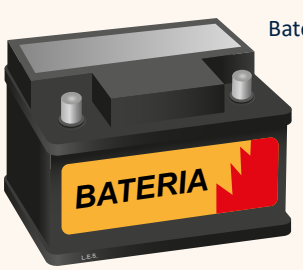
MOTOR A COMBUSTÃO



ALTERNATIVAS DE FONTES ELÉTRICAS

Sistema monofásico de 110 a 220V.

Sistema trifásico de 220 a 380V.

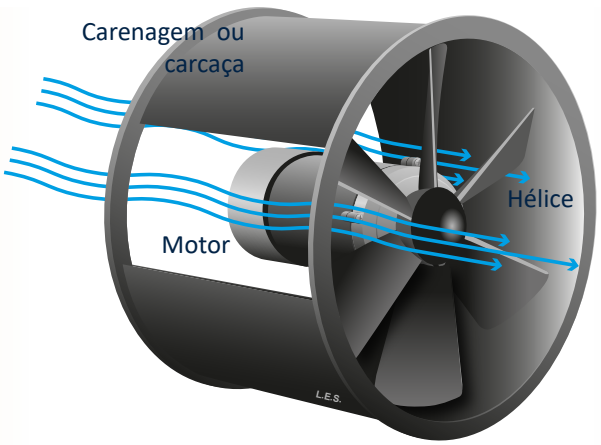


Bateria

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

TIPOS DE VENTILADORES

Ventilador tipo Axial



Uma hélice girando sobre um eixo gera a movimentação do ar.

A palavra axial significa algo relativo a um eixo ou que tem forma de eixo. Os ventiladores que apresentam um eixo em que uma extremidade está ligada a um motor e a extremidade oposta está instalada a uma hélice são chamados de axiais.

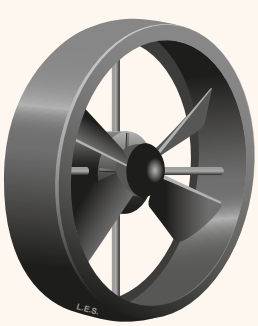
A movimentação de ar gerada pelo conjunto motor, eixo e hélice acontece paralelamente ao eixo, como ilustrado na figura acima.

Existem diferentes tipos de ventiladores axiais como, por exemplo, os chamados propulsores, que são aqueles adotados no uso doméstico, ou as versões industriais, maiores em tamanho e com maior capacidade de deslocamento de ar. Porém, o modelo a ser destacado neste texto é o do tipo “tubo axial”, que recebe este nome por apresentar o seu corpo (carenagem) com um comprimento maior do que o seu diâmetro.

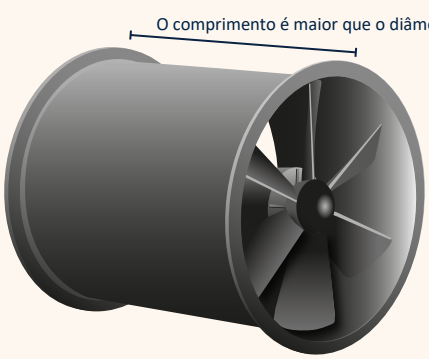
Este tubo proporciona a pressão estática, essencial para o uso de dutos, porque quanto mais pressão estática menor será a perda de vazão no sistema.

Os ventiladores axiais oferecem como vantagens um preço comparativamente mais baixo e uma maior oferta de modelos, o que inclui uma variedade grande de matérias primas na sua construção. Também são encontrados no mercado com maior variedade de tamanho, pressão estática e capacidade de vazão.

Ventilador axial propulsor.
Aplicado em uso doméstico e industrial.



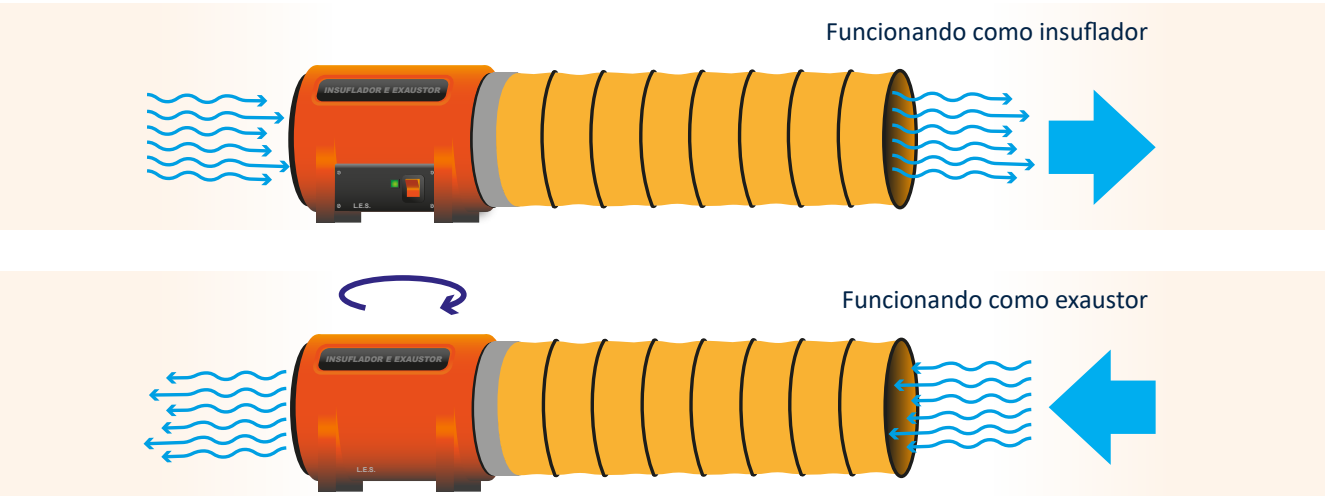
Ventilador Tubo axial.
Mais eficiente para insuflação e exaustão.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

TIPOS DE VENTILADORES

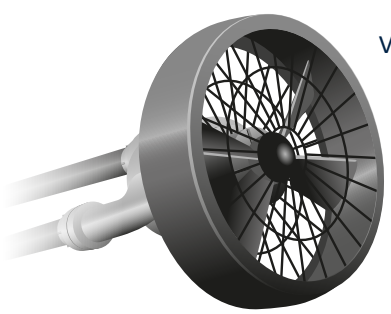
Os modos insuflação e exaustão



Nos modelos mais versáteis de ventiladores para espaços confinados, para alternar do modo insuflação para o modo exaustão basta posicionar o duto de ar. Instalado de um lado do ventilador irá soprar ar, instalado na extremidade oposta irá sugar o ar.

Mas não são todos os ventiladores que oferecem essa versatilidade. Mesmo entre os tubos axiais, existem modelos que priorizam a insuflação, sendo mais eficientes nesse modo e mais problemáticos como exaustores. Os ventiladores que priorizam a insuflação podem exigir dutos especiais para poderem atuar como exaustores, pois podem criar uma grande pressão negativa no duto, encolhendo o seu diâmetro ou até mesmo levando-o ao colapso.

Sobre a versatilidade dos ventiladores para espaços confinados, cuja maioria permite o uso alternado nos modos insuflação e exaustão, existem outras exceções. Alguns modelos axiais propulsores, que até permitem o uso de dutos, por causa da posição do motor não permitem a instalação do duto na posição de exaustão por causa da posição do motor. Para poderem ser usados como exaustores teriam que ser posicionados dentro do espaço confinado, o que pode ser problemático em algumas situações.



Ventilador axial com motor hidráulico

Exemplo de um modelo de ventilador que só permite a instalação de dutos de ar em uma posição.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

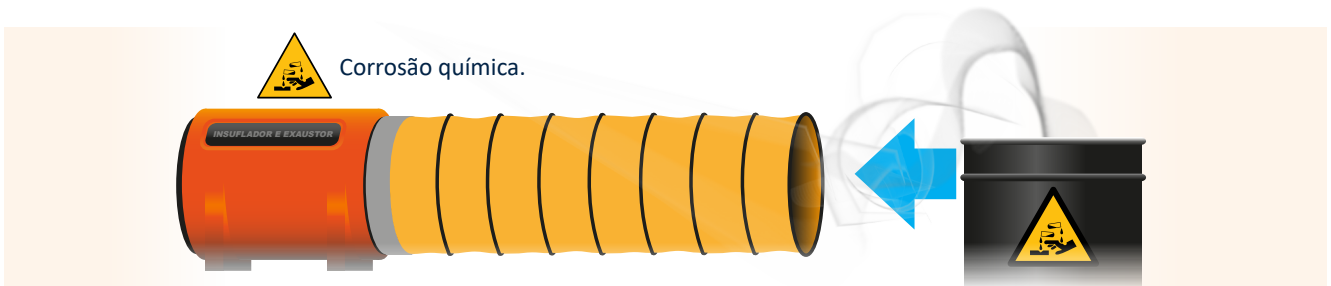
VENTILADORES

O modo exaustor é o mais problemático para o ventilador

Nas situações mais comuns de ventilação em espaços confinados, o modo insuflação é o que mais preserva o equipamento. Em tese, o que o ventilador faz nessa situação é capturar ar do ambiente externo e lançá-lo para dentro do espaço. É apenas ar passando pelo motor e hélice. Mas quando o ventilador é usado no modo exaustor a situação pode ser muito diferente.

O objetivo da ventilação no modo exaustão pode ser capturar substâncias perigosas para lançá-las para o meio externo.

O ventilador no modo exaustor pode capturar partículas dentro do espaço confinado, que ao passar pelo ventilador terão contato com o motor e a hélice. As partículas vão causar desgaste por abrasão nas superfícies do equipamento com as quais tiverem contato. Essa abrasão também poderá acumular carga elétrica no corpo do ventilador (energia estática).



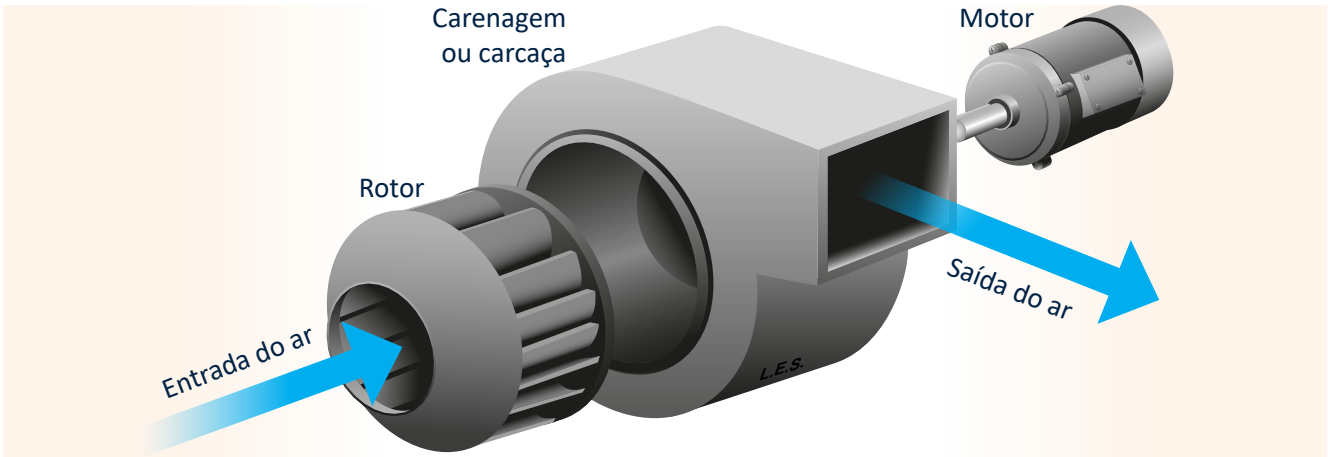
Substâncias químicas podem ser corrosivas e causar danos nos componentes do ventilador com os quais tiverem contato.

Os problemas anteriores vão causar danos ao equipamento, mas existe um risco que pode afetar o ambiente onde o ventilador estiver sendo usado, bem como os trabalhadores que estiverem nele: os gases inflamáveis. Substâncias combustíveis irão se incendiar ao entrar em contato com o motor, a menos que o ventilador seja certificado para atmosferas potencialmente explosivas.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

TIPOS DE VENTILADORES

Ventilador Centrífugo



Esse tipo de ventilador recebe esse nome por usar a força centrífuga para deslocar o ar. Assim como acontece numa máquina de lavar roupa, cujo tambor interno gira em alta velocidade para forçar a água a sair da roupa, a peça do ventilador denominada de rotor age de uma forma semelhante para mover o ar.

A ação da inércia (um dos princípios da física) faz com que o ar que está sendo movido pelo rotor seja lançado pela abertura que está ao lado. Esse mecanismo é tão eficiente que consegue gerar mais pressão e velocidade que os modelos tubo axiais.

Nesse tipo de ventilador o motor não tem contato com o fluxo de ar, ficando isolado de contaminantes e partículas sólidas.

Uma outra vantagem atribuída ao ventilador centrífugo é produzir menos ruído quando comparado a outros tipos de equipamentos.

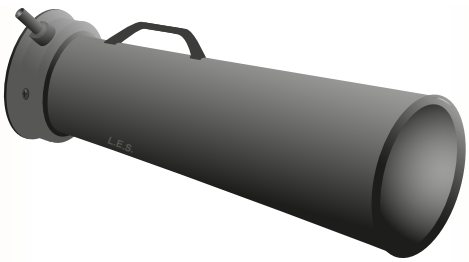
Como desvantagens, os ventiladores centrífugos são menos variados no mercado nacional e mais caros quando comparados a outros tipos.

Os ventiladores centrífugos podem ser usados como insufladores ou como exaustores. Porém, apresentam diferenças de pressão e vazão quando usados em um modo ou outro.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

TIPOS DE VENTILADORES

Ventilador tipo Venturi

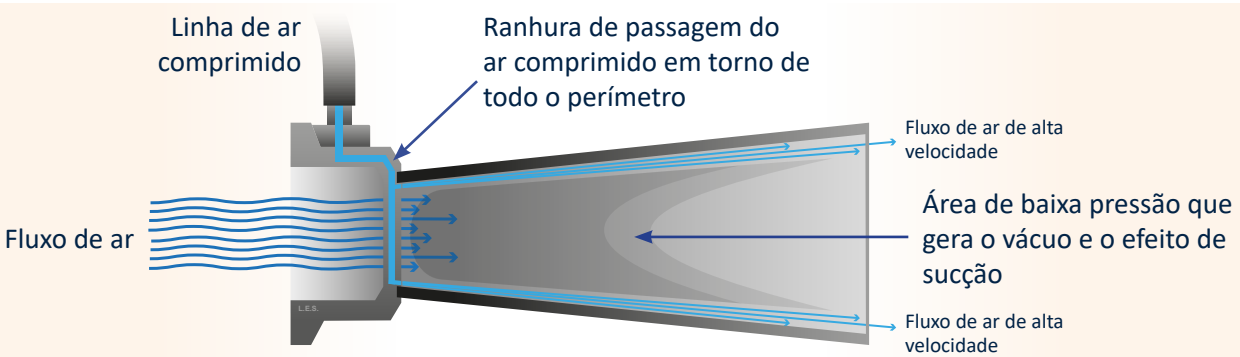


Esse tipo de ventilador é um equipamento pneumático, ou seja, utiliza ar comprimido para funcionar, mas pode, com um pouco menos de eficiência, utilizar também o vapor saturado (seco).

Ele funciona graças a um efeito de física chamado de Venturi, cujo nome homenageia o cientista italiano Giovanni B. Venturi que viveu na virada dos séculos dezoito e dezenove.

Trata-se de um equipamento exótico se comparado com outras tecnologias de ventilação, já que não usa motores ou outras peças móveis para movimentar e manter o fluxo de ar.

O seu funcionamento se baseia no princípio de Bernoulli e no efeito Venturi, que estabelecem que com o aumento da velocidade existe a diminuição da pressão e vice-versa. Uma mangueira de ar comprimido é conectada na base do ventilador e por frestas muito pequenas um jato de ar é lançado sobre as paredes internas do cone. Esse fluxo de ar em alta velocidade reduz a pressão interna do cone, provocando um vácuo que suga o ar da base para a saída do cone.



Trata-se de um sistema muito eficiente de exaustão, indicado para situações que envolvam a sucção de partículas abrasivas, já que o equipamento não dispõe de peças que possam ser danificadas por estas partículas.

Ele é mais indicado para a exaustão (sucção), porém também pode ser usado como insuflador.

O fato dele não usar motores ou fontes elétricas o torna seguro para uso em atmosferas potencialmente inflamáveis e explosivas.

A limitação para o seu uso está no fato de que ele exige uma boa fonte de ar comprimido para funcionar eficientemente. Mas isto pode ser normalmente encontrado dentro de plantas industriais que possuem potentes compressores e linhas de ar com alta pressão.

A sua instalação não é tão simples como a de outros ventiladores portáteis, que possuem os seus sistemas próprios de apoio e transporte.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

TIPOS DE VENTILADORES

Ventiladores para atmosferas explosivas

Foi abordado nas páginas anteriores que fazer a exaustão de gases inflamáveis pode ser perigoso se o equipamento não for apropriado para isso. O ventilador poderá agir como uma fonte de ignição e deflagrar um incêndio ou uma explosão.

O ventilador indicado para ambientes com gases inflamáveis ou poeiras combustíveis, quando elétrico, é denominado equipamento para áreas classificadas. Esses ventiladores devem ser projetados, fabricados e ensaiados para funcionarem em ambientes contaminados com substâncias inflamáveis sem o risco de agirem como fonte de ignição.

A garantia desses equipamentos serem, de fato, seguros para esse tipo de situação é uma certificação.

Certificação de equipamentos para áreas classificadas

O tema áreas classificadas foi abordado no capítulo 3, intitulado Riscos Atmosféricos, no tópico sobre Inflamabilidade e Explosividade. Naquele tópico foi abordada a necessidade e a exigência para que os equipamentos elétricos e eletrônicos sejam projetados, fabricados, ensaiados e certificados para áreas classificadas.

A Portaria n°179 de 18 de maio de 2010, em seu art. 3°, exige de forma compulsória (obrigatória) a certificação de equipamentos elétricos para áreas classificadas que deve ser conduzida por organismos de certificação acreditados pelo sistema INMETRO. A avaliação de conformidade dos equipamentos tem como base a ABNT NBR IEC 60079, que especifica os requisitos gerais para a construção, os ensaios e as marcações de equipamentos elétricos para uso em atmosferas explosivas.

A ABNT NBR IEC 60079 foi criada com base numa norma europeia, publicada pela IEC (*International Electrotetechnical Commission*), uma organização mundial que elabora normas para as áreas de elétrica, de eletrônica e de tecnologias relacionadas. Trata-se de uma norma técnica extensa formada por inúmeras partes.

A certificação de um equipamento determina em que circunstâncias ele pode ser usado, considerando os critérios de classificação como o grupo e subgrupo (tipo de indústria e substâncias envolvidas), a zona onde o equipamento poderá ser usado e as classes de temperatura. Então, não basta um ventilador ter um selo EX. O usuário tem que saber a classificação para a qual ele foi certificado. Por exemplo, um ventilador pode estar classificado para a zona 1, onde o risco de incêndio ou explosão não é constante, onde a presença de substâncias inflamáveis pode ocorrer acidentalmente ou somente nos momentos de operação. Um exemplo de uma zona 1 é o entorno da bomba de combustível que abastece veículos.

TIPOS DE VENTILADORES

Ventiladores para atmosferas explosivas

Considerações

Em situações de ambientes classificados como Zona 0, a exemplo dos tanques de armazenamento de combustíveis, a ventilação não será a melhor opção. Procedimentos como a purga ou a inertização serão as opções mais adequadas.

No Brasil, o fornecimento dos ventiladores para áreas classificadas é problemático. Existem equipamentos vendidos para uso em atmosferas inflamáveis que não são certificados. Alguns fabricantes nacionais apresentam a certificação de componentes do ventilador, como motor, cabo e caixa de comando, embora o equipamento montado não seja ensaiado e certificado em conformidade com a norma ABNT NBR IEC 60079. O que apresenta uma incerteza quanto à segurança do equipamento.

Entre os modelos importados, já houve certificações fraudadas ou emitidas como auto-certificação, sem que o fabricante pudesse comprovar competência para tal.

Ainda sobre os importados, há modelos comercializados no Brasil que não oferecem manutenção, pois reparos feitos em ventiladores para áreas classificadas exigem cuidados e padrões que se não forem respeitados podem tornar o equipamento inadequado para atmosferas inflamáveis. Anulam a certificação.

Portanto, na seleção de um ventilador para uso em atmosferas inflamáveis, é necessário exigir a certificação INMETRO do ventilador (não apenas de parte dos seus componentes), e é recomendável que se especule sobre a possibilidade de manutenção dentro dos padrões que mantenham a certificação válida.

Amprot
Equipamentos

VENTILAÇÃO NR33

ESPAÇOS CONFINADOS

Soluções em ventilação para espaços confinados.

CONFIANÇA

Aparelhos com motores com classe de isolamento F, Ideais para utilização em ambientes industriais agressivos (sem risco de explosão).

GARANTIA

Equipamentos com garantia de 12 meses e todo suporte técnico necessário na utilização.

ESTOQUES

A Amprot mantém um completo estoque de peças e equipamentos para garantir sua segurança.

SOBRE NÓS

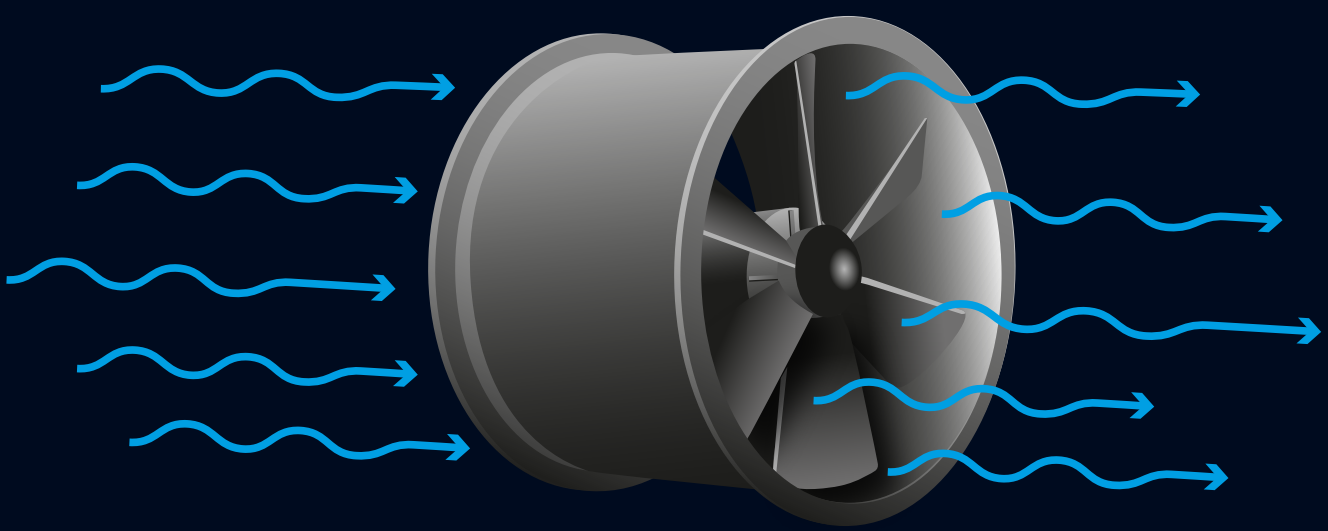
Nossa missão é ajudar no enfrentamento e resolução de problemas ambientais que interferem a qualidade do ar que nosso parceiro comercial respira. Somos provedores de ferramentas técnicas que ajudam a preservar vidas em ambientes confinados: ventiladores, exautores e insufladores de ar.

FALE CONOSCO

- **Profissionais com ampla experiência no mercado de equipamentos de segurança.**
- **Condições especiais para revendedores e locadoras.**
- **Entrega rápida e ótimos preços.**

www.amprot.com.br
11-3906-5155

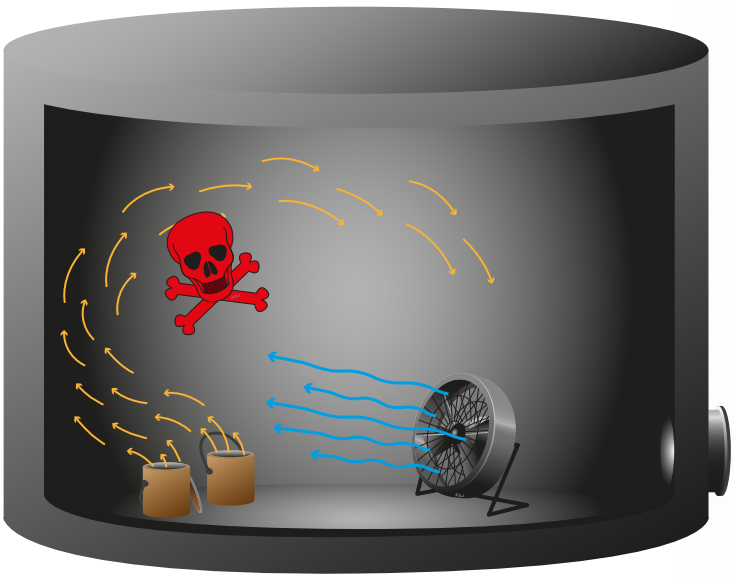
Métodos de ventilação



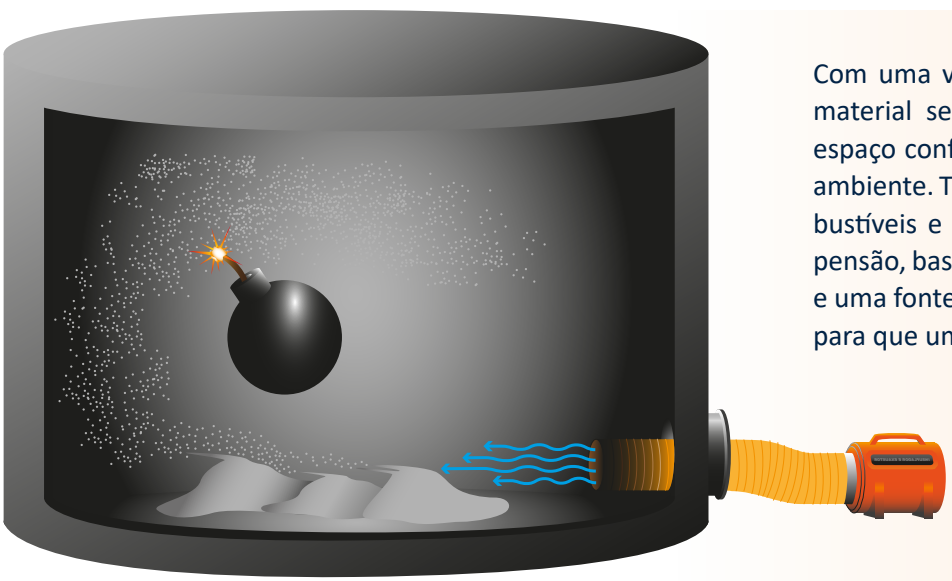
MÉTODOS DE VENTILAÇÃO

Não basta mover o ar

As vezes acontecem situações nas rotinas de trabalho em que a falta de planejamento ou a má-execução de um processo pode gerar uma situação de perigo ao invés de anulá-lo, ou agravar ainda mais o risco já existente. Abaixo apresentamos dois exemplos de ventilações que criam problemas ao invés de solucioná-los.



Lançar uma corrente de ar sobre produtos voláteis, que evaporam à temperatura ambiente, apenas acelera o processo e faz com que os vapores se misturem ao ar do ambiente mais rapidamente.



Com uma ventilação mal planejada o material sedimentado dentro de um espaço confinado será espalhado pelo ambiente. Tratando-se de poeiras combustíveis e fazendo-as entrar em suspensão, bastará a presença de oxigênio e uma fonte de ignição (calor e faíscas) para que uma explosão aconteça.

A ventilação precisa ser um processo planejado, sendo que o primeiro passo é identificar o risco e o segundo passo é selecionar o método adequado para anulá-lo ou controlá-lo. Não basta mover o ar.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

MÉTODOS DE VENTILAÇÃO

A ventilação em espaços confinados tem diferentes aplicações, começando por ser um meio de resolver problemas ambientais que afetam a segurança, a saúde e o conforto dos trabalhadores.

Os espaços confinados podem ter contaminantes no ar, sejam eles gases ou particulados, apresentar calor intenso ou odores fortes e desagradáveis.

Acontece que os problemas listados geram uma variedade grande de situações, e se as condições variam muito é porque os contaminantes apresentam características muito diferentes. Por exemplo, um gás muito denso vai se depositar no fundo de um espaço confinado, já um gás muito leve vai se acumular no alto do ambiente. A fonte e a presença dos contaminantes também podem variar, seja como algo misturado em todo ar do ambiente ou como algo que se apresenta como uma fonte específica e localizada. Diante de todas essas possibilidades, é possível afirmar que para um processo de ventilação ser eficiente deve-se sempre começar com uma boa análise dessas condições, ou seja, deve-se conhecer bem o "problema" para então poder planejar uma boa solução.

Lembre-se também que a ventilação pode ser usada em situações de emergência, como por exemplo, levar ar fresco para uma vítima impossibilitada de sair por meios próprios do espaço confinado enquanto aguarda o início do resgate.

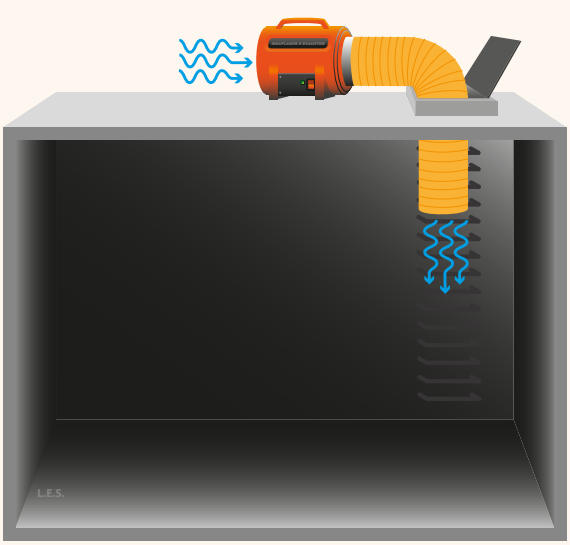
Tudo isso justifica os vários métodos de ventilação que podem ser adotados nas rotinas de trabalho em espaços confinados.

A seguir, apresentaremos alguns deles.

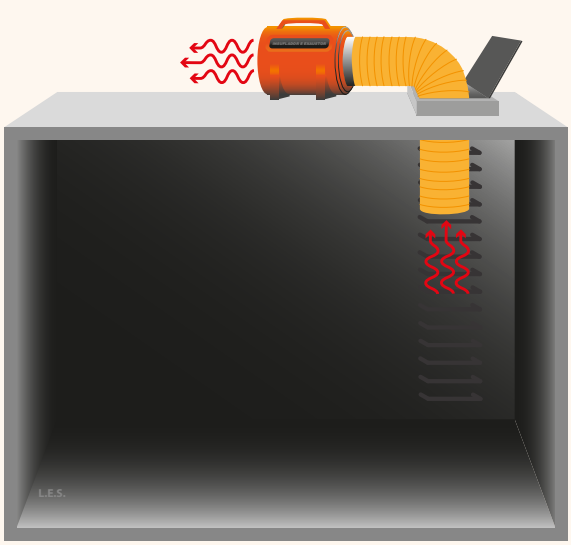
É importante relembrar

Existem duas formas de movimentar o ar em um espaço confinado: soprando ar para dentro do ambiente (insuflação) ou sugando o ar de dentro do ambiente (exaustão).

Insuflação
Sopra o ar para dentro do espaço confinado



Exaustão
Suga o ar de dentro do espaço confinado

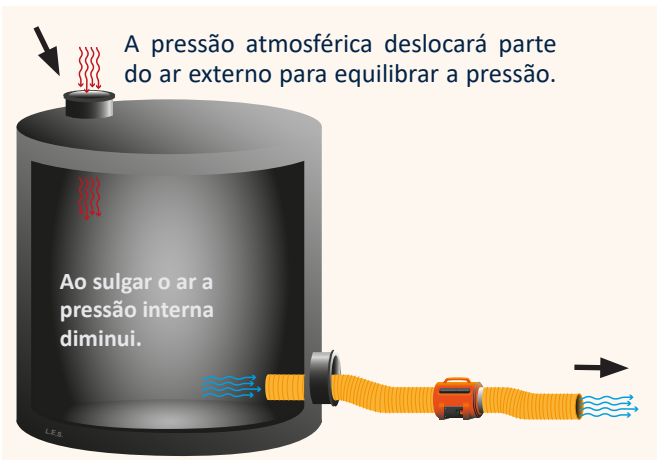


Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

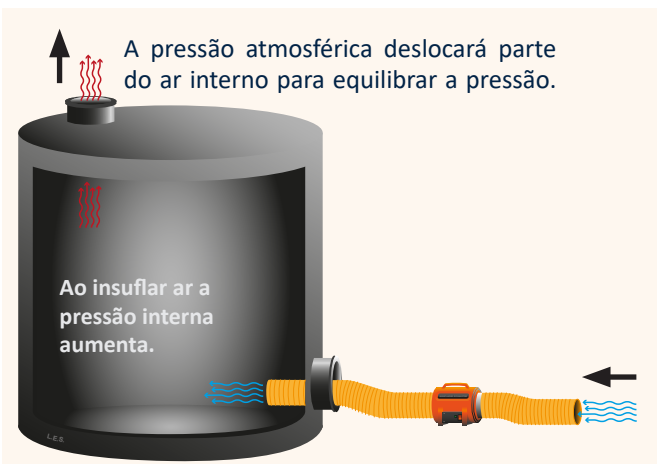
MÉTODOS DE VENTILAÇÃO

Equilíbrio de pressão

A natureza “gosta” de equilíbrio. No comportamento dos gases, em condições normais, o equilíbrio da pressão será sempre mantido. Por exemplo, se houver a diminuição da pressão dentro de um tanque a pressão atmosférica deslocará parte dos gases do meio externo para dentro desse tanque até que o equilíbrio de pressão seja restabelecido.



O mesmo ocorrerá se houver um aumento de pressão dentro do tanque. Uma parte dos gases de dentro do tanque será deslocada para o ambiente externo até que as pressões interna e externa sejam equiparadas.



Graças a esse fenômeno é possível provocar a renovação da atmosfera de um determinado espaço confinado. Se o processo de ventilação for o de insuflar ar para dentro dele, a natureza fará parte do ar se deslocar para fora, a fim de manter o equilíbrio da pressão interna com o ambiente externo. O mesmo acontecerá se o processo de ventilação for o de sugar o ar (exaustão) de dentro do espaço para lançá-lo para o ambiente externo. Ao sugar parte dos gases que estão dentro do espaço confinado a ventilação vai gerar uma diminuição da pressão interna e a pressão atmosférica irá deslocar parte dos gases do ambiente externo para dentro do tanque até que as pressões sejam equilibradas.

Nesse processo de ventilação, haverá naturalmente uma troca de gases entre os meios interno e externo, e depois de um determinado tempo o ar dentro do espaço confinado será totalmente renovado.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

MÉTODOS DE VENTILAÇÃO

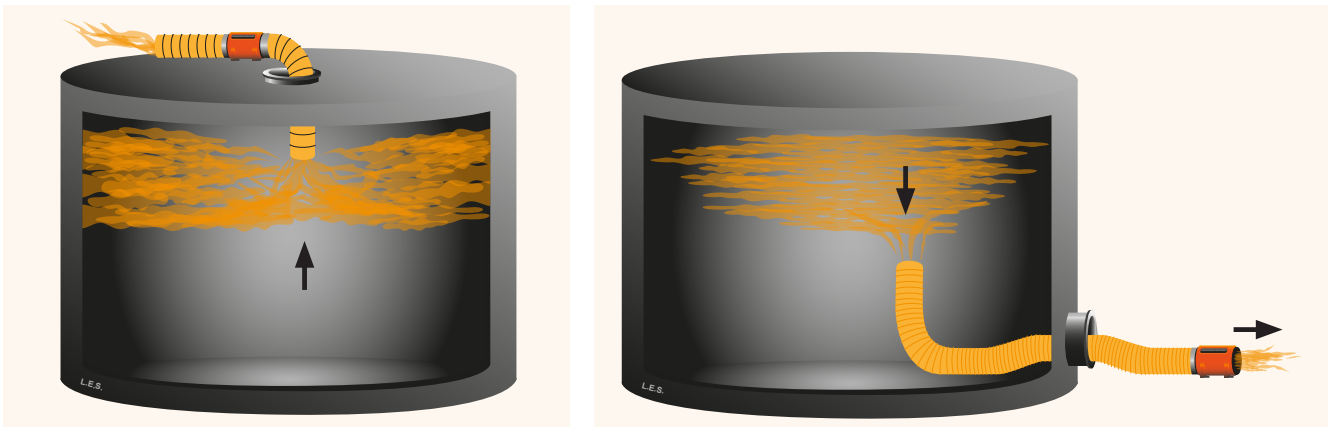
Deve-se considerar a densidade dos gases

A premissa que deve ser respeitada na avaliação e no controle de atmosferas em ambientes de trabalho é a necessidade de conhecer as características dos contaminantes.

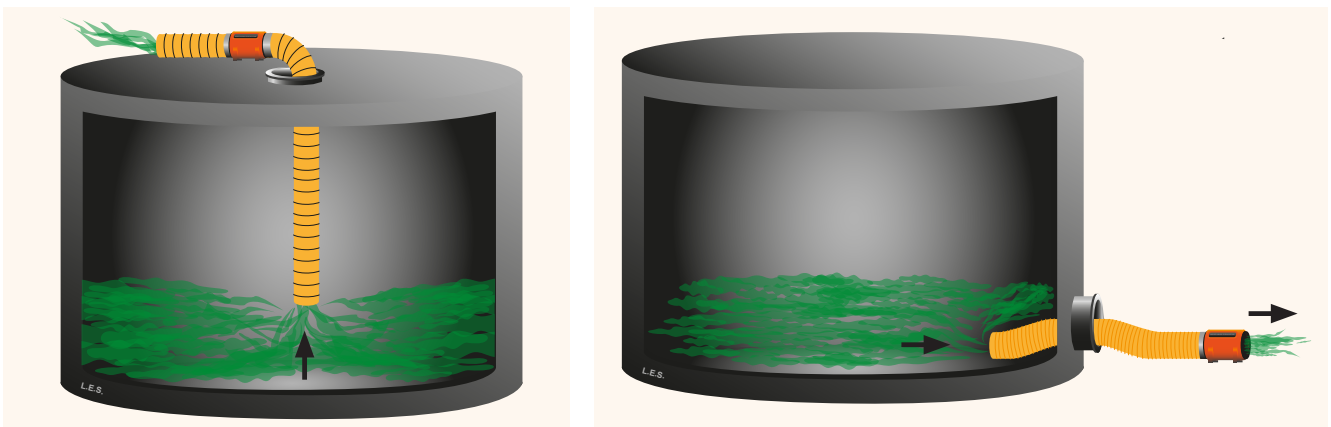
Mesmo na avaliação atmosférica de um espaço confinado, a detecção de gases depende do conhecimento prévio sobre os potenciais contaminantes, pois os detectores de gás devem oferecer os sensores adequados para os gases que precisam ser detectados. Na ventilação não é diferente. Sem o conhecimento sobre o tipo de gás e as suas características, não é possível planejar e realizar uma ventilação eficiente.

Um exemplo disso é densidade dos gases, já que um gás mais leve do que o ar ocupará o alto do espaço confinado, enquanto um gás mais pesado irá se acumular no fundo do ambiente. Com esse conhecimento é possível realizar a ventilação correta.

Um gás mais leve do que o ar irá se acumular no alto do ambiente, e a ventilação deve considerar isso.



Um gás mais pesado do que o ar irá se acumular no fundo do ambiente, e a ventilação deve considerar isso.

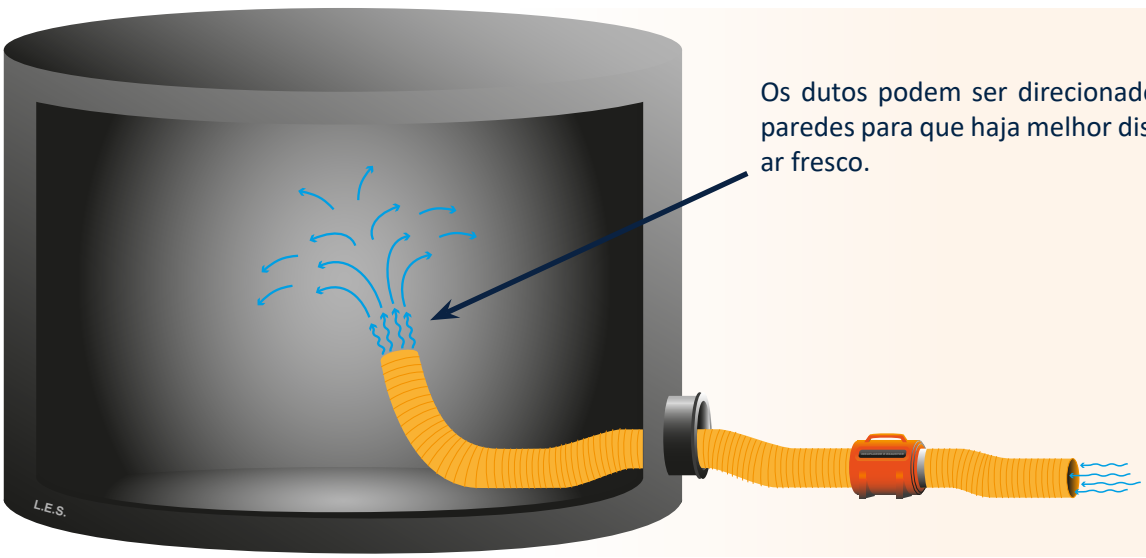


Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

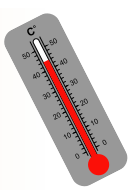
MÉTODOS DE VENTILAÇÃO

Ventilação geral

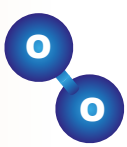
A ventilação geral pode acontecer na forma de insuflação ou de exaustão, e é indicada para a diluição de contaminantes quando eles existirem em baixas concentrações, ou para amenizar a temperatura do ambiente e garantir o fornecimento de ar respirável.



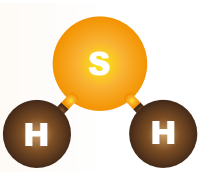
Indicações



Controle de temperatura.



Manutenção da concentração de oxigênio.



Diluição de contaminantes em baixas concentrações.

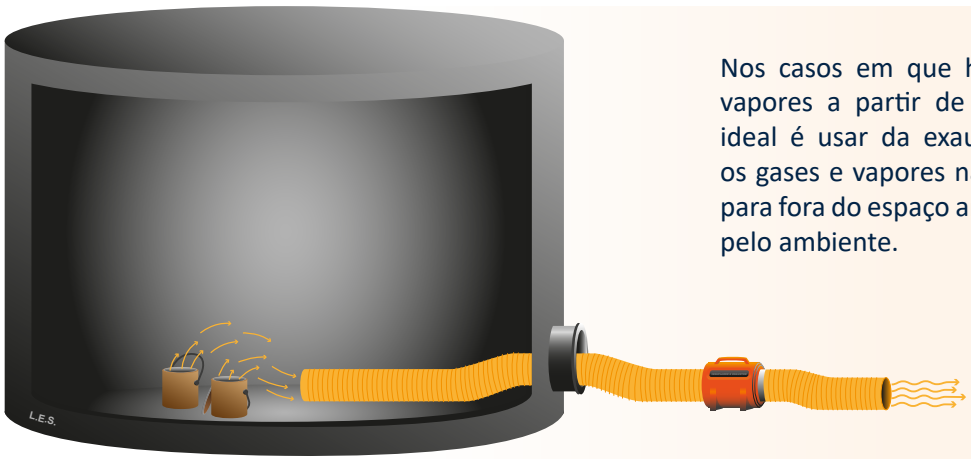
Nem sempre a ventilação geral será a melhor opção.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

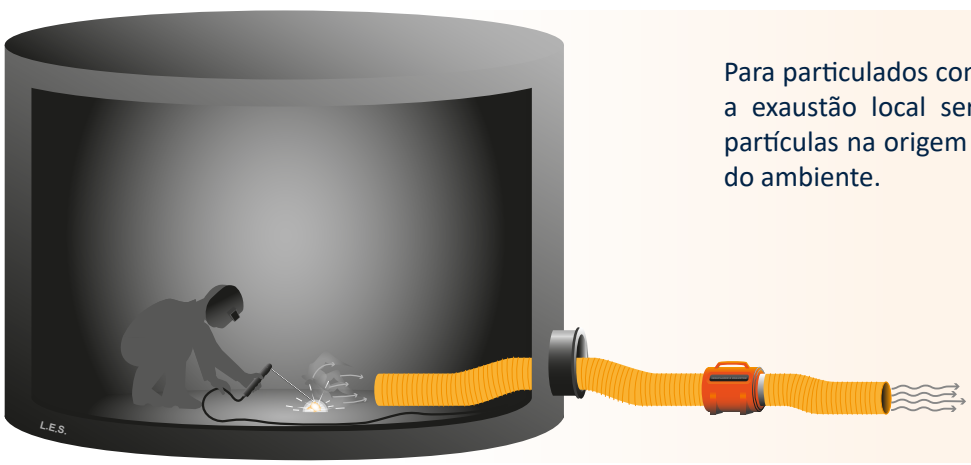
MÉTODOS DE VENTILAÇÃO

Ventilação local

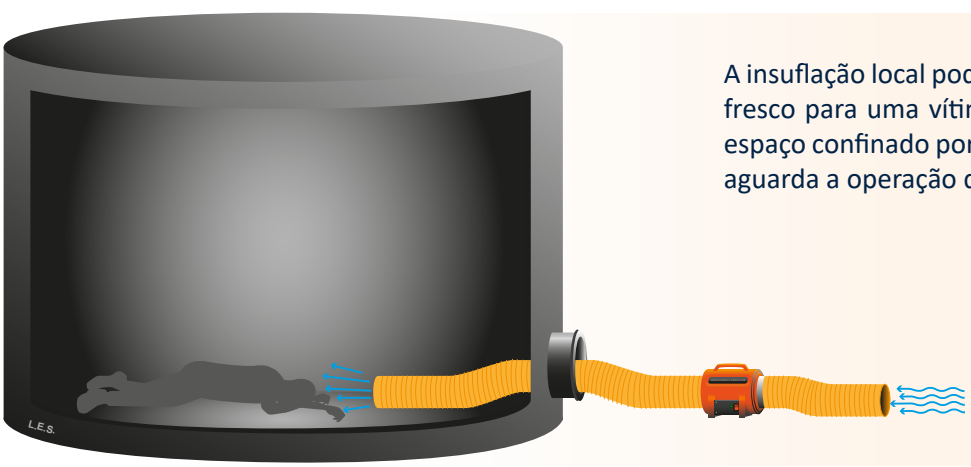
Algumas situações exigem uma ventilação local, o que significa fazer a insuflação ou a exaustão afetarem uma área específica do ambiente. Veja alguns exemplos:



Nos casos em que há a geração de gases e vapores a partir de uma fonte específica, o ideal é usar da exaustão local para capturar os gases e vapores na origem e transportá-los para fora do espaço antes que eles se espalhem pelo ambiente.



Para particulados como poeiras, fibras e fumos a exaustão local servirá para capturar essas partículas na origem e transportá-las para fora do ambiente.



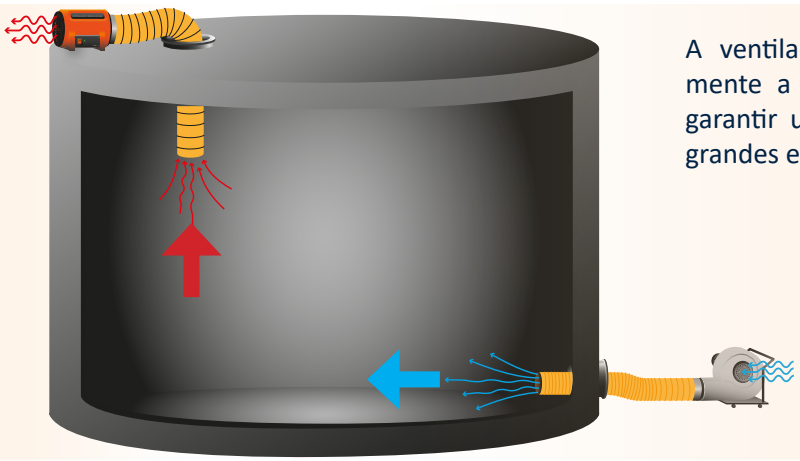
A insuflação local pode ser usada para soprar ar fresco para uma vítima que não possa sair do espaço confinado por meios próprios enquanto aguarda a operação de resgate.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

MÉTODOS DE VENTILAÇÃO

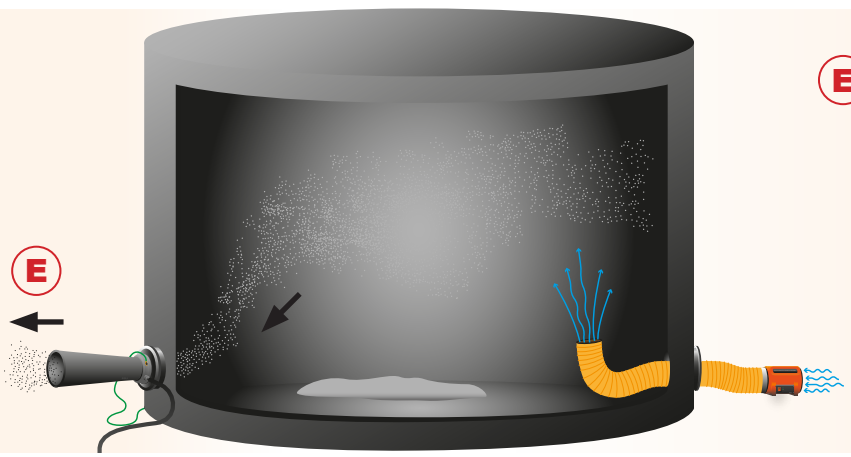
Ventilação conjugada

Para gerar uma ventilação mais rápida e eficiente é possível combinar simultaneamente a insuflação e a exaustão. Para isso é necessário o uso de dois equipamentos.

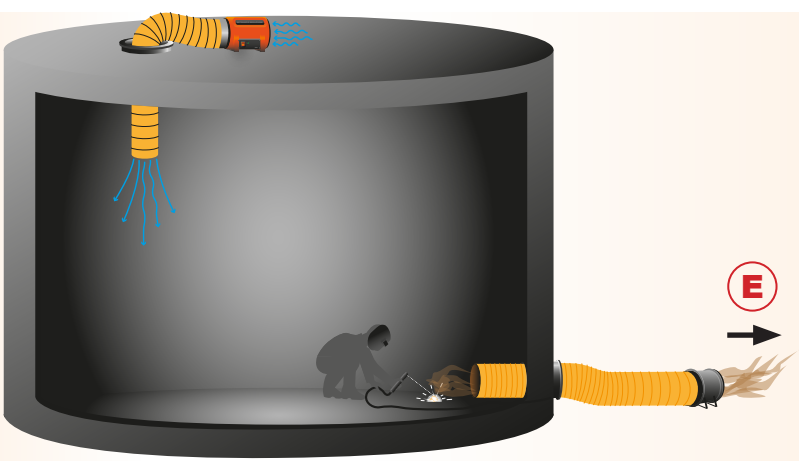


A ventilação que combina simultaneamente a insuflação e a exaustão pode garantir um processo mais eficiente em grandes espaços confinados.

Deve-se aproveitar os fenômenos do ar quente subir e o ar frio descer.



E Para maior eficiente do sistema é aconselhável que a exaustão tenha maior pressão e vazão.



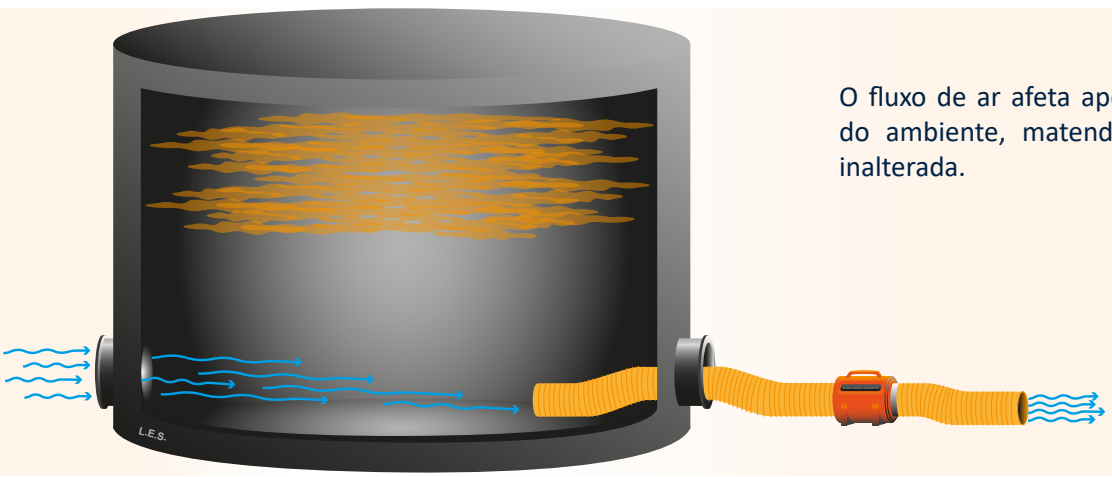
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROBLEMAS E SOLUÇÕES NA VENTILAÇÃO

O alinhamento das entradas

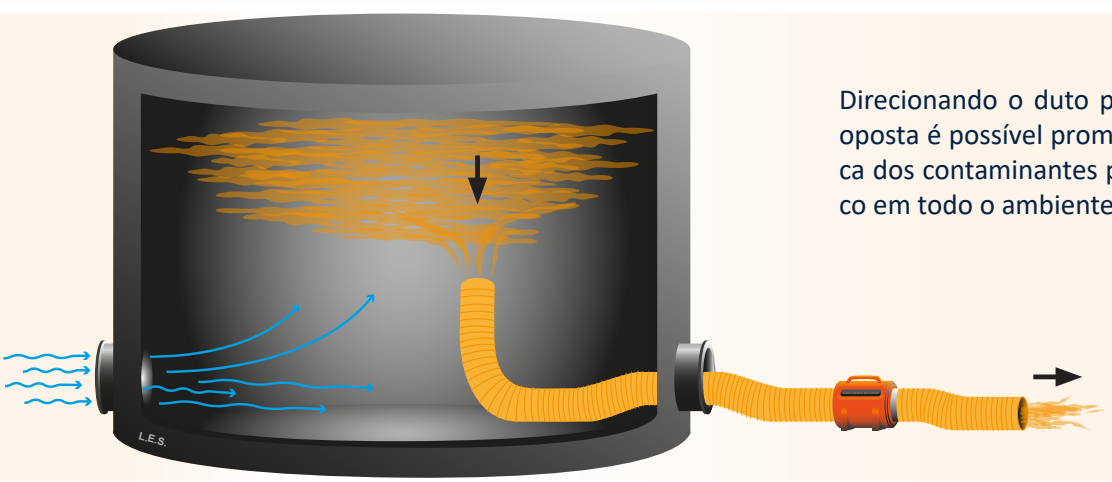
O alinhamento das entradas de um espaço confinado pode gerar um fluxo de ar que afetará apenas uma parte do espaço. O planejamento da ventilação deve considerar esse risco e adotar medidas que garantam os efeitos sobre toda a atmosfera do ambiente. Veja os exemplos abaixo:

Problema



O fluxo de ar afeta apenas parte do ambiente, matendo a outra inalterada.

Solução



Direcionando o duto para a área oposta é possível promover a troca dos contaminantes por ar fresco em todo o ambiente.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROBLEMAS E SOLUÇÕES NA VENTILAÇÃO

O alinhamento das entradas

Abaixo é apresentado o mesmo problema que o anterior, mas com um alinhamento diferente. A solução será a mesma.

Problema

Este exemplo é semelhante ao anterior. Apenas alinhamento é diferente, mas gera o mesmo problema, que é gerar um fluxo de ar que afeta apenas uma parte do ambiente.

Solução

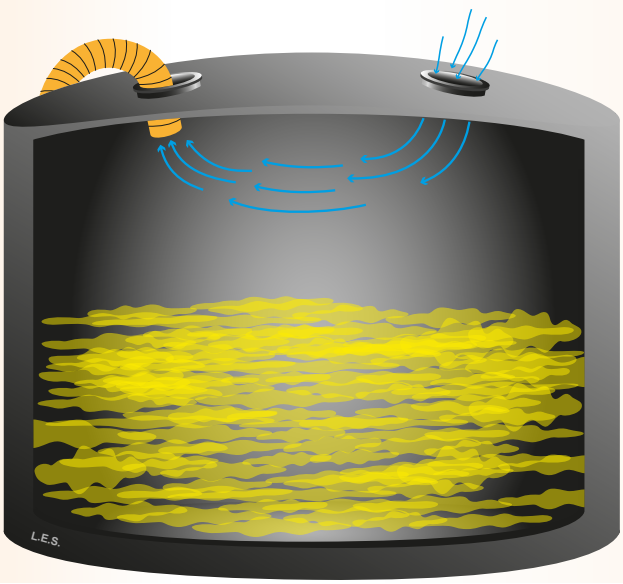
A solução é a mesma, ou seja, direcionar o duto para um canto oposto, permitindo assim a troca dos contaminantes por ar fresco por todo o espaço.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROBLEMAS E SOLUÇÕES NA VENTILAÇÃO

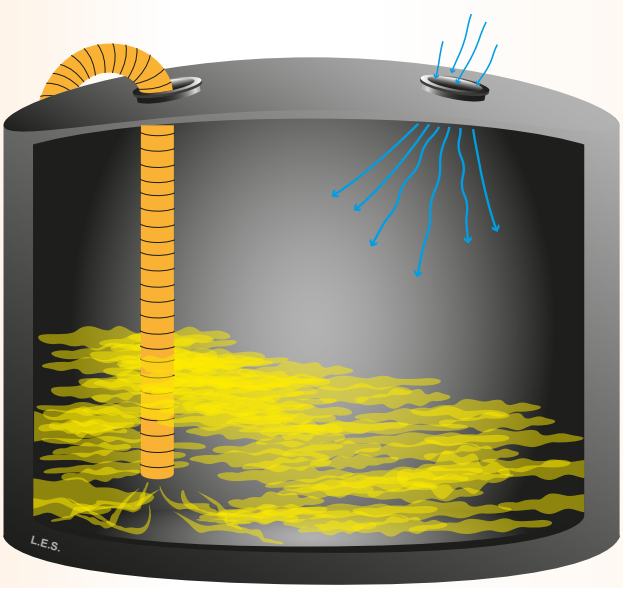
O alinhamento das entradas

Problema



Como nos exemplos anteriores, a proximidade das entradas pode ocasionar uma ventilação direcionada e que afete apenas uma parte do ambiente.

Solução



A solução continua sendo, como nos exemplos anteriores, levar o fluxo de ar, seja ele na forma de insuflação ou de exaustão, para a extremidade oposta.

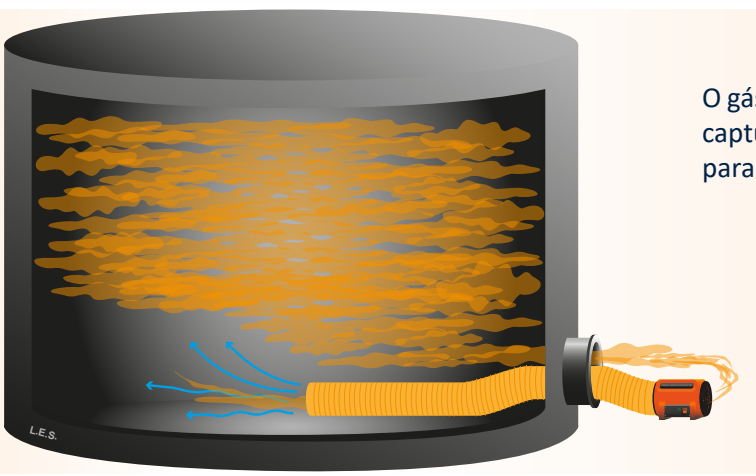
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROBLEMAS E SOLUÇÕES NA VENTILAÇÃO

Recirculação dos contaminantes

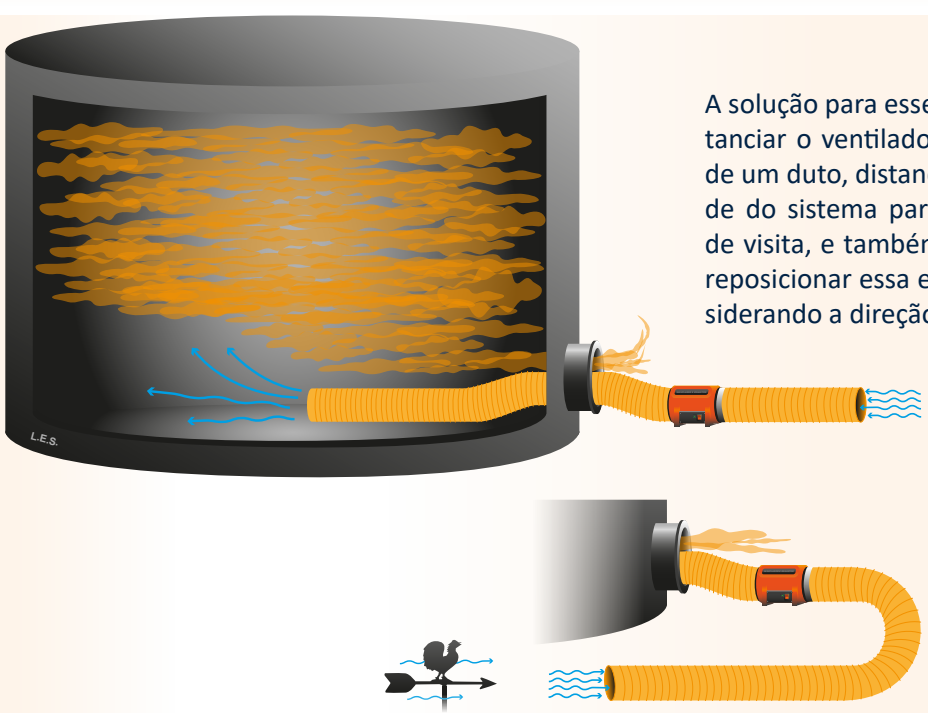
A recirculação acontece quando o contaminante que está saindo do espaço confinado é capturado pelo ventilador ou pelo fluxo de ar que está entrando pela boca de visita. Ou seja, o contaminante, ou parte dele, volta para dentro do espaço confinado durante o processo de ventilação. Isso acontece mais facilmente quando o espaço confinado tem um único acesso e quando o ventilador é posicionado muito próximo da entrada. Alguns textos chamam esse tipo de ocorrência de "curto-circuito". Veja os exemplos a seguir.

Problema



O gás que sai do espaço confinado é capturado pelo ventilador e retorna para dentro do ambiente.

Solução



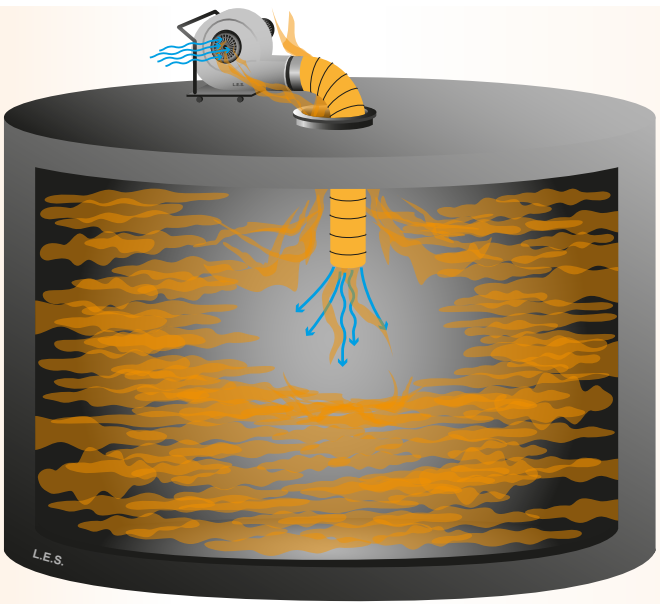
A solução para esse problema é distanciar o ventilador ou, com o uso de um duto, distanciar a extremidade do sistema para longe da boca de visita, e também, se necessário, reposicionar essa extremidade considerando a direção do vento.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROBLEMAS E SOLUÇÕES NA VENTILAÇÃO

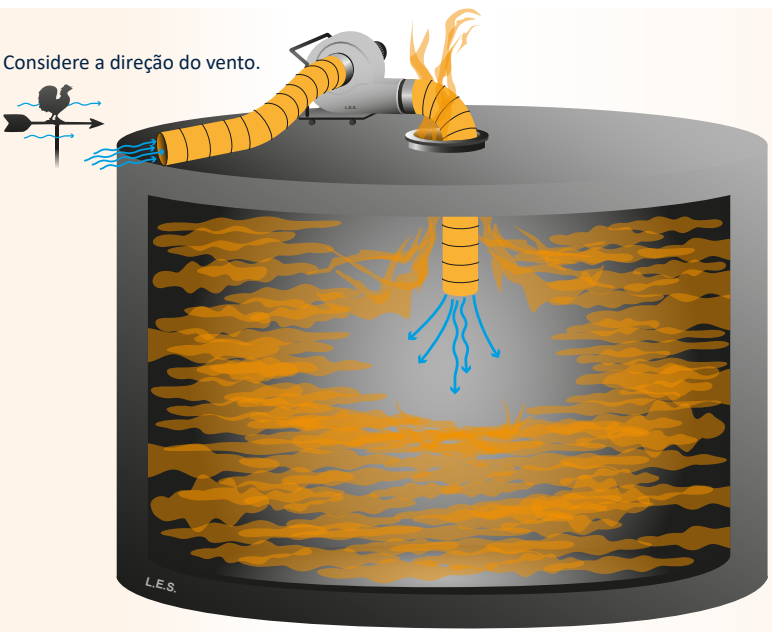
Recirculação dos contaminantes

Problema



Como no exemplo anterior, o gás que sai do espaço confinado é capturado pelo ventilador e retorna para dentro do ambiente.

Solução



A solução será distanciar o ventilador ou, com o uso de um duto, distanciar a extremidade do sistema para longe da boca de visita, e também, se necessário, reposicionar essa extremidade considerando a direção do vento.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROBLEMAS E SOLUÇÕES NA VENTILAÇÃO

Obstáculos

Os gases e os vapores têm como característica a capacidade de se espalhar por um ambiente, já que são formados por moléculas com pouca atração entre si, mas não é sempre assim. Certas propriedades, como a densidade e a viscosidade, podem estratificar os gases em um ambiente, ou seja, criar camadas ou confinar o gás em algum lugar.

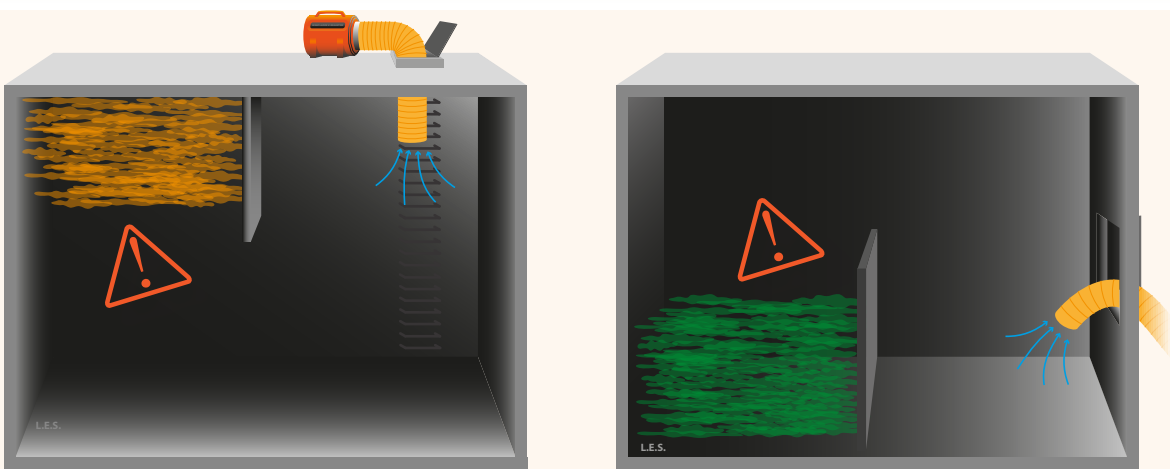
É fácil planejar um processo de ventilação de um ambiente livre de obstáculos, onde o fluxo de ar, seja numa insuflação ou numa exaustão, acontece de forma livre e sem resistência. Porém, muitas vezes o ambiente a ser ventilado oferece barreiras que dificultam esse processo e criam a possibilidade dos gases se represarem em um determinado canto do espaço confinado.

Os espaços confinados podem ser particionados de uma forma que não isole as suas partes, mas que pode oferecer resistência ao fluxo de ar. Partes estruturais, máquinas ou os chamados “cantos mortos” podem represar uma certa quantidade de um determinado gás, seja ele mais leve ou mais pesado do que o ar.

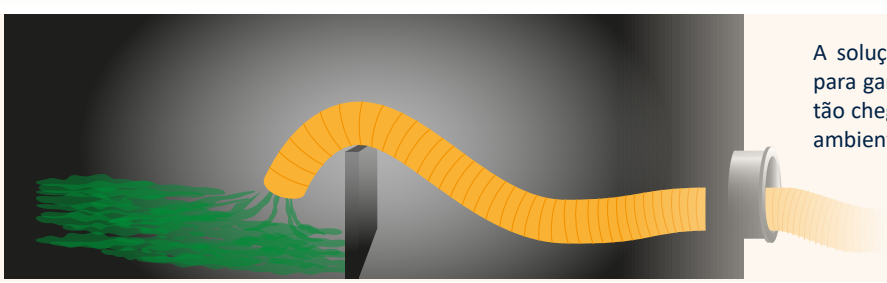
A permanência de gases contidos em bolsões, mesmo após um processo de purga e de ventilação, já vitimou trabalhadores na vida real. Por isso é essencial considerar a possibilidade de haver uma porção de gás represada por algum obstáculo existente dentro do espaço confinado ou concentrado no ponto de origem.

A solução é usar os dutos de ventilação para garantir que a insuflação ou a exaustão chegue até os cantos mais isolados do ambiente.

Problema



Solução



A solução é usar os dutos de ventilação para garantir que a insuflação ou a exaustão chegue até os cantos mais isolados do ambiente.

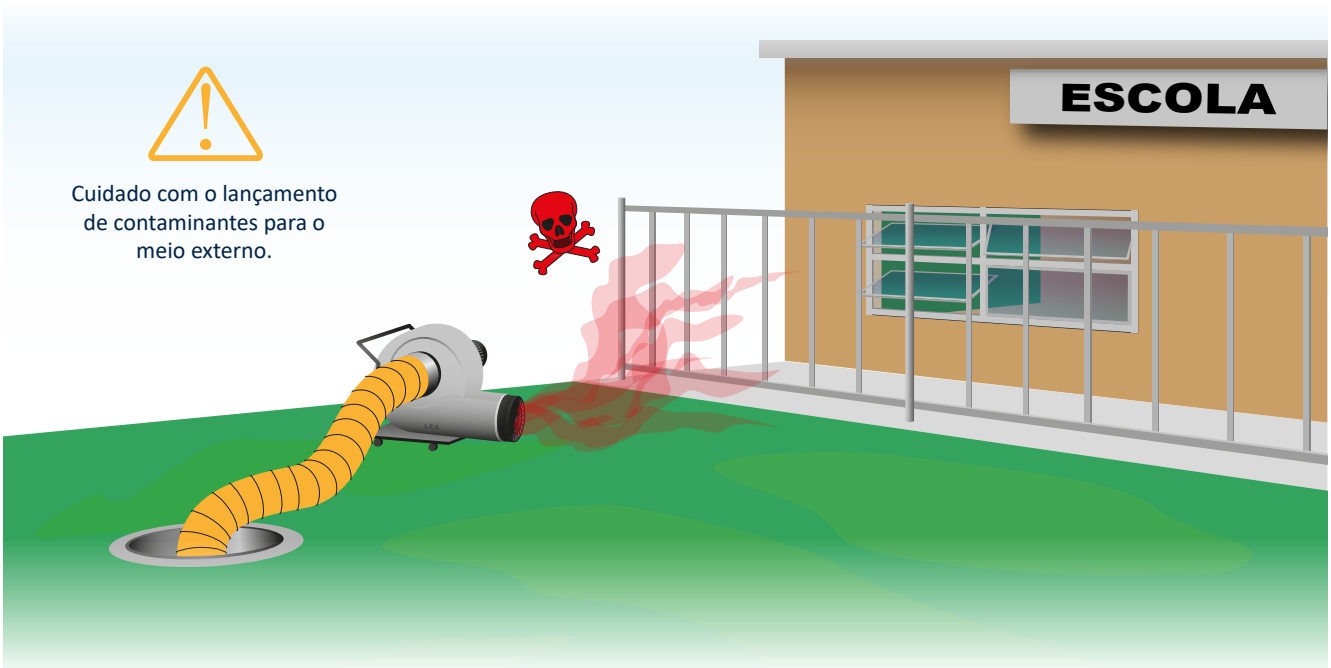
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROBLEMAS E SOLUÇÕES NA VENTILAÇÃO

Contaminação do meio ambiente externo

Um problema óbvio, mas que facilmente pode acontecer por descuido, é o de fazer a exaustão de um espaço confinado expurgando contaminantes tóxicos ou inflamáveis e os lançar sem cuidado para o meio ambiente externo. Sem a devida atenção e sem os devidos cuidados pode-se colocar a segurança e a vida de pessoas em risco. Essas pessoas podem não ter nada a ver com a execução do trabalho.

Contaminantes lançados para o meio ambiente externo podem atingir outros trabalhadores que estejam nas proximidades do espaço confinado, podem atingir pessoas de uma sala cujas portas ou janelas estejam no caminho dos gases e vapores, podem atingir pedestres em uma via pública ou se infiltrar em tubulações e galerias. Isso só para citar alguns poucos exemplos.



Dependendo da substância e da concentração dela dentro do espaço confinado, a ventilação não deverá simplesmente lançá-la para o meio ambiente externo. A legislação ambiental proíbe que certas substâncias sejam lançadas para a atmosfera, exigindo do processo de ventilação alguma forma de contenção dos contaminantes após terem sido sugados do espaço confinado. Essa contenção deve acontecer através de alguma forma de filtragem.

Devemos lembrar também que lançar um gás inflamável para o meio externo poderá criar uma grave condição de risco, já que o gás expelido pela ventilação poderá encontrar fora do espaço confinado alguma fonte de ignição, que poderá inflamá-lo e gerar um incêndio ou uma explosão.

Portanto, mesmo nos casos em que a filtragem não seja obrigatória, o lançamento dos contaminantes extraídos do interior de um espaço confinado deve acontecer de uma forma que eles possam ser dispersados na atmosfera sem riscos. Deve ser evitado o contato da substância com uma possível fonte de ignição, bem como evitar afetar pessoas, plantas e animais. Para isso, deve ser observado o que será lançado, onde será lançado, a existência de possíveis fontes de ignição para gases inflamáveis e também as condições atmosféricas, como a presença e a direção de ventos.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROBLEMAS E SOLUÇÕES NA VENTILAÇÃO

Captura acidental de contaminantes

Um outro problema que pode ocorrer por falta de atenção é a captura acidental de contaminantes cuja fonte de emissão esteja do lado de fora do espaço confinado.

Um exemplo para esse problema é a presença de motores à combustão ligados e próximos ao ventilador. Se a ventilação for de insuflação, haverá grandes chances de os gases emitidos pelo motor serem capturados e lançados para dentro do espaço confinado.

O uso de geradores de energia elétrica à combustão pode facilmente oferecer esse tipo de risco.

Existem os ventiladores que funcionam com a energia fornecida por baterias de carros, e se não houver muito cuidado com a posição do ventilador e do veículo (estando ele com o motor ligado), e também com a direção do vento, haverá o risco da captura de parte dos gases tóxicos emitidos pelo escapamento do veículo e o envio deles para dentro do espaço confinado.

No caso dos modelos de ventilador cujos motores são à combustão, todos os cuidados e procedimentos determinados pelos fabricantes deverão ser adotados.

Não é somente o processo de insuflação que oferece esse risco. No processo de exaustão também poderá haver esse problema. Para isso bastará ter uma fonte emissora de contaminantes próxima da boca de visita do espaço confinado. Num processo de exaustão as substâncias perigosas poderão ser capturadas pela corrente natural de ar gerada pela ventilação (equilíbrio da pressão interna e externa).

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Cálculos de ventilação

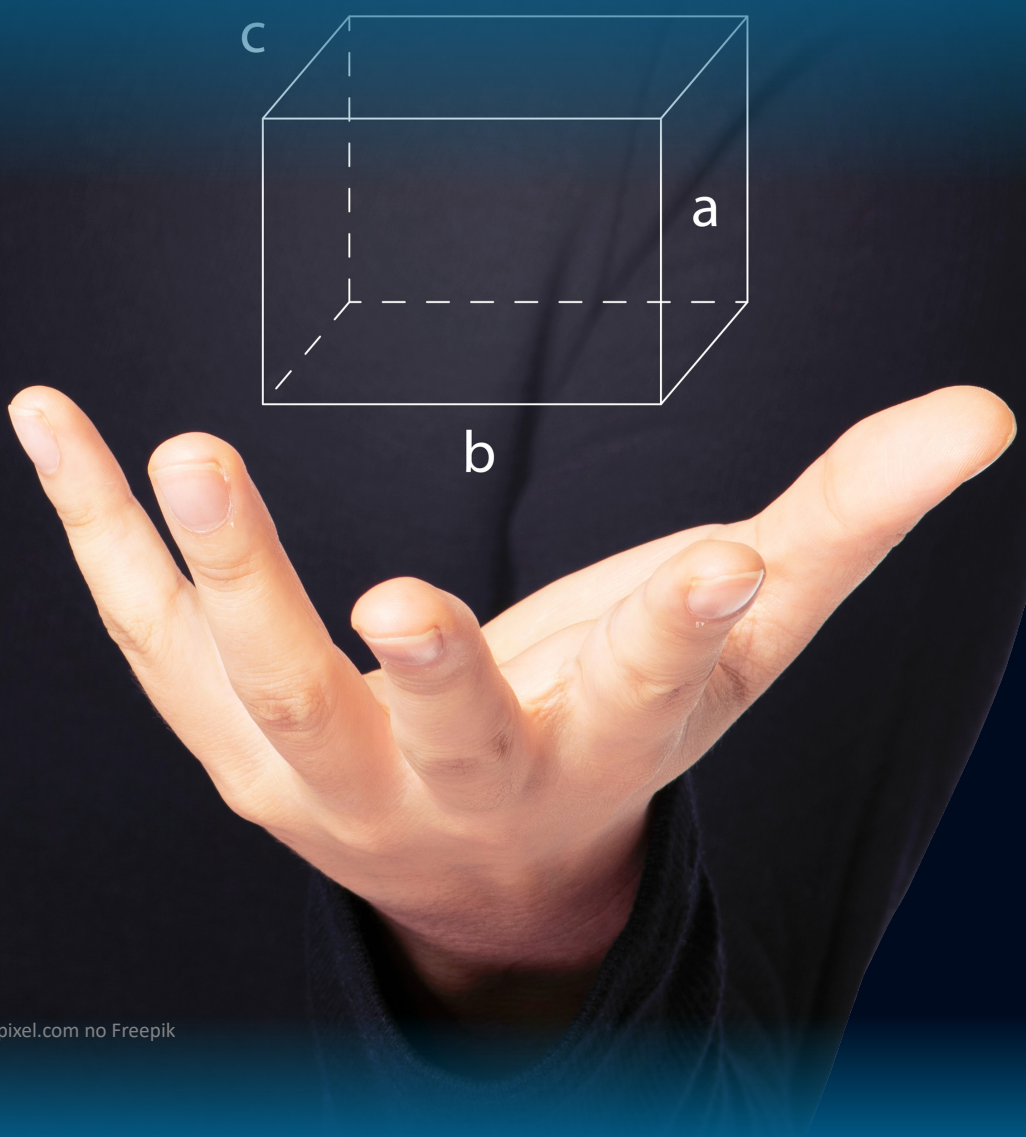


Imagem de rawpixel.com no Freepik

O foco deste tópico

Nas páginas a seguir será abordada a ventilação em espaços confinados por meio de equipamentos portáteis, utilizados momentaneamente para eliminar ou controlar riscos atmosféricos ou para manter as boas condições durante a permanência dos trabalhadores dentro desses ambientes.

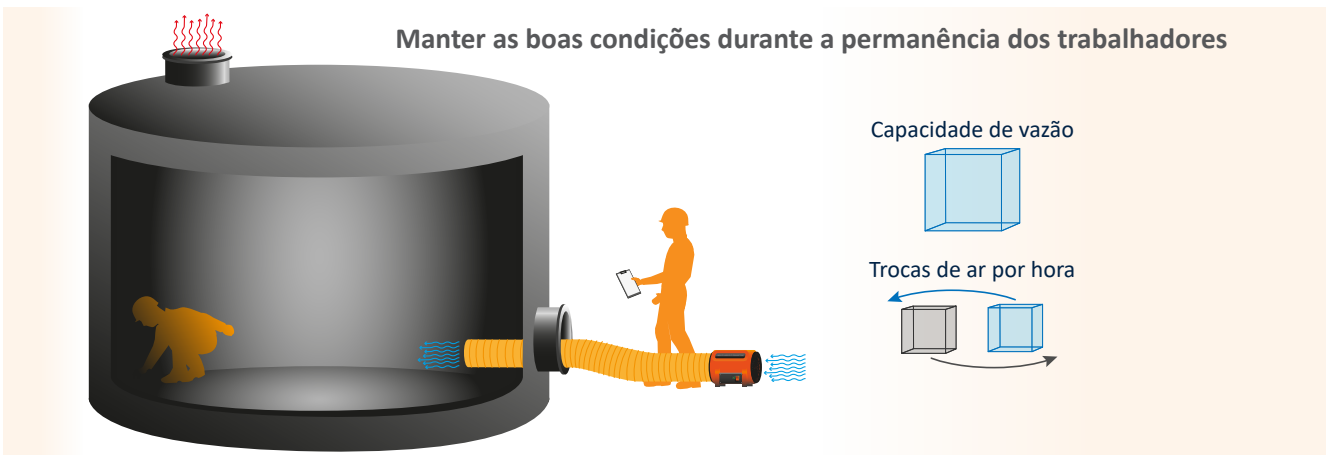
CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Cálculo segundo a necessidade

A ventilação é um dos meios de corrigir os problemas atmosféricos dentro de um espaço confinado.

A origem dos contaminantes pode estar dentro do espaço confinado ou surgir com a tarefa que será executada pelos trabalhadores. Um espaço pode apresentar uma atmosfera segura até que uma equipe de trabalho ingresse para realizar essa tarefa. Por exemplo, o jateamento de superfícies emite uma grande quantidade de particulados. Os trabalhos de solda ou oxicorte emitem os chamados fumos. Produtos químicos voláteis levados pelos trabalhadores podem gerar perigosos gases e vapores.

Então temos duas situações básicas que vão exigir a ventilação mecânica como forma de eliminação ou controle de riscos. A primeira será adequar as condições atmosféricas para o ingresso dos trabalhadores dentro do espaço confinado, se a avaliação inicial indicar esta necessidade. A segunda será manter as boas condições enquanto os trabalhos são realizados.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Volume

O objetivo do cálculo da ventilação varia. Pode-se calcular quanto tempo será necessário para que um ventilador promova a troca de toda a atmosfera de um ambiente. Também pode ser usado para determinar a capacidade de vazão de um ventilador, ou a quantidade de ventiladores necessários para mover certo volume de gases durante determinado tempo.

Para todos os cálculos será necessário conhecer o volume de gases que precisa ser movido.

O volume de um corpo é a quantidade de espaço que ele ocupa. Neste contexto, o que será medido é a quantidade de ar dentro de um determinado ambiente. O ar é um composto de gases, e sabemos que uma das propriedades dos gases é, em geral, ocupar todo o espaço que o contém. Calculando-se o tamanho desse espaço será obtida a quantidade de ar dentro dele.

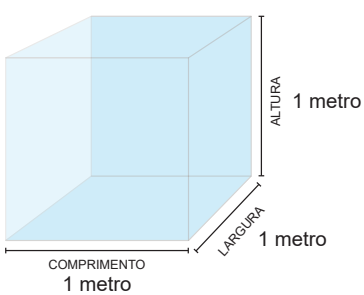
No capítulo 2, que aborda alguns fundamentos de física, foi apresentado o conceito de volume e a unidade internacional de medida para essa grandeza, que é o metro cúbico, cujo símbolo é m^3.

A seguir vamos aprender a calcular o volume dos espaços com as geometrias mais simples e comuns, cujo resultado será usado no cálculo da ventilação.

Uma empresa que implantou adequadamente os requisitos da NR 33, terá à disposição o inventário de espaços confinados, e entre os dados disponíveis estarão as características desses espaços, incluindo o volume de cada um deles. Mas, considerando que tal informação não esteja disponível, é possível calcular, até mesmo de forma estimada, o volume de um ambiente para fim de cálculo da ventilação.

A geometria é uma área da matemática que estuda as formas geométricas. Ela nos oferece os meios de dimensionar essas formas conforme o seu comprimento, área e volume.

O volume é um espaço tridimensional. A forma mais simples de representar essa tridimensionalidade é o cubo.



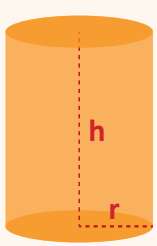
METRO CÚBICO (m^3)

Um metro cúbico (m^3) é um espaço formado por 1 metro de comprimento, 1 metro de largura e 1 metro de altura.

Para cada diferente forma geométrica haverá uma fórmula específica para o cálculo do seu volume. Veja alguns exemplos:

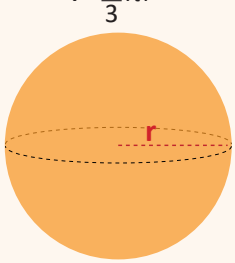
Cilindro

$V = \pi r^2 h$



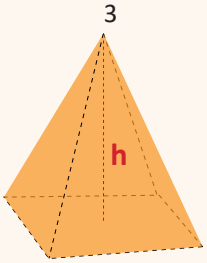
Esfera

$V = \frac{4}{3} \pi r^3$



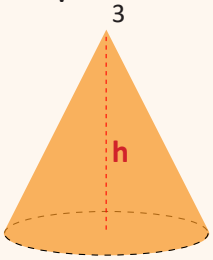
Pirâmide

$V = \frac{A_b \, h}{3}$



Cone

$V = \frac{\pi r^2 h}{3}$



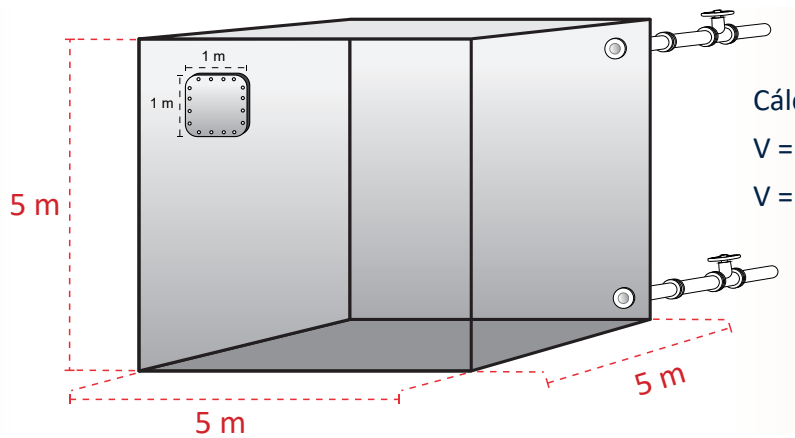
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Não se assuste com as fórmulas de geometria apresentadas na página anterior. Não é necessário ter afinidade com a matemática para calcular o volume de um espaço. Há maneiras de simplificar esse cálculo, já que o resultado não precisa ser preciso. Um valor aproximado do volume atenderá à necessidade. A recomendação de segurança é "se for para errar, erre para mais". Estimar um volume maior do que realmente é poderá exigir um tempo maior de ventilação ou um ventilador um pouco mais potente. Nenhuma dessas situações acarretará prejuízo para a segurança.

Espaços em formato de cubo ou paralelepípedo

Para espaços que apresentam o formato geométrico em forma de cubo ou paralelepípedo o cálculo do volume interno é multiplicar os valores das três dimensões (largura, altura e profundidade) Veja o exemplo:



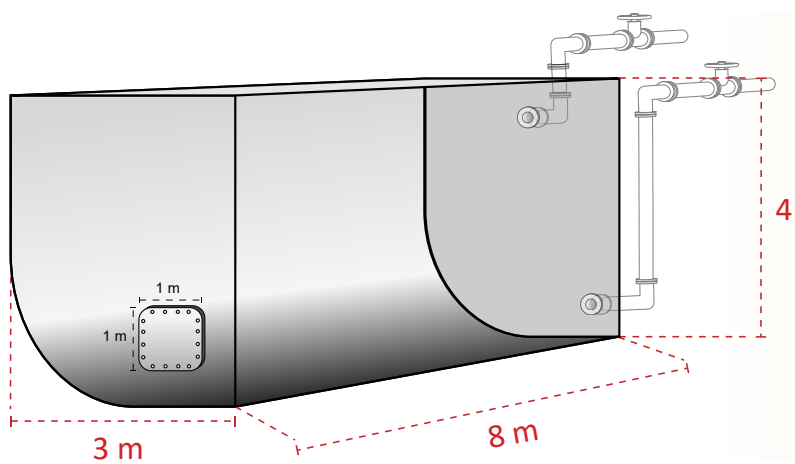
Cálculo do volume

V = 5m x 5m x 5m

V = 125 m³

E quando o espaço não é simétrico?

Podem existir espaços confinados cujos lados não são iguais. Por exemplo, é comum que tanques dentro de embarcações tenham de um lado paredes retas e do outro paredes curvas, acompanhando a curvatura do casco. Obviamente que um cálculo do volume de um espaço assim será mais complexo, mas há uma forma de simplificar. Trate-o como um espaço simétrico, ou seja, como se todos os lados fossem semelhantes. No exemplo abaixo, a forma de simplificar o cálculo do espaço foi considerá-lo um paralelepípedo. O resultado será um valor maior de volume do que realmente é, o inconveniente será ventilar por mais tempo do que o necessário ou dimensionar a potência do ventilador para mais. Nenhuma dessas circunstâncias prejudicará a segurança dos trabalhadores.



Cálculo do volume

V = 3m x 8m x 4m

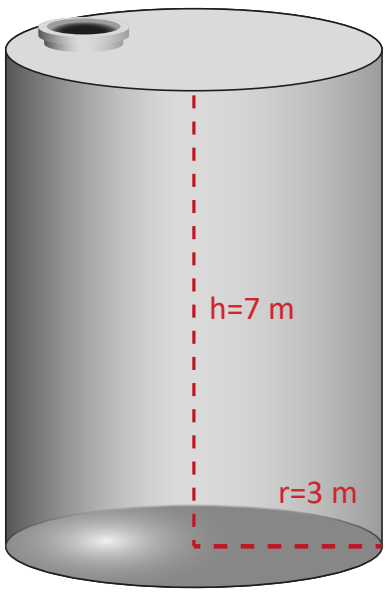
V = 96 m³

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Espaços em formato de cilindro

Tanques, vasos de pressão, silos, entre outros tipos de equipamentos apresentam formato cilíndrico, e a forma de calcular o volume interno é diferente da usada para os cubos e os paralelepípedos. O cálculo não é complexo. Assim como nos exemplos anteriores, serão multiplicados três valores. Contudo, um deles será padrão: o número Pi (π), que é aproximadamente 3,14 (quando usadas apenas duas casas decimais). O volume de um cilindro é obtido multiplicando 3,14 (π) x raio ao quadrado (r^2) x altura (h).



Fórmula: $V=\pi r^2 h$

π (Pi) = 3,14

r (raio) = 3 m

h (altura) = 7 m

Cálculo do volume

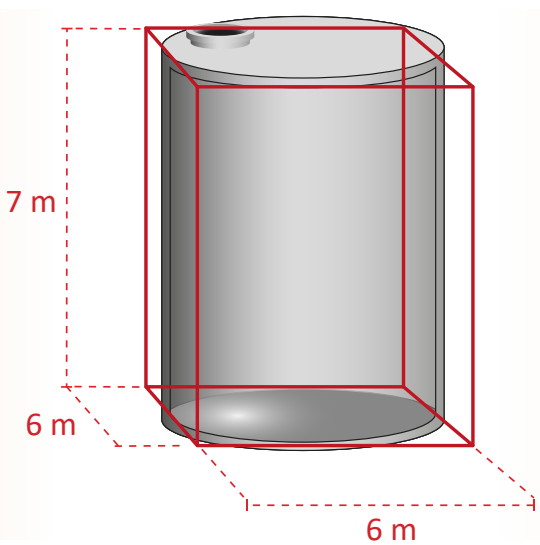
V = 3,14 (π) x 3^2 (r) x 7m (h)

V = 3,14 (π) x 9 (r) x 7m (h)

V = 197,82 m^3

Simplificação

Uma alternativa mais simples para calcular um ambiente cilíndrico é tratá-lo como se fosse um paralelepípedo, como no exemplo abaixo. O resultado do cálculo será maior, o que não gera prejuízo para a segurança.



Cálculo do volume

V = 7m x 6m x 6m

V = 252 m^3

Obs.: Esta simplificação resultou num valor 27% maior que o cálculo com a fórmula específica.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Determinação da vazão do ventilador

Já foi abordado neste manual que a vazão real de um ventilador não será, necessariamente, aquela indicada pela fabricante, pois existem fatores que interferem nessa vazão.

Um fator impactante no desempenho do ventilador é o uso de dutos e a geometria que eles assumem durante o trajeto para chegar no local onde eles vão insuflar o ar fresco ou fazer a exaustão dos gases ou particulados indesejáveis.

Falta um valor universal para a perda de vazão no uso de dutos. Existem alguns números comuns na literatura técnica, mas que não atendem a todas as situações.

O ideal é que a organização proprietária do ventilador realize testes de vazão para determinar o desempenho do equipamento em algumas situações comuns de trabalho. Com base no resultado desses testes, poderá elaborar protocolos e padrões de utilização.

Para fim de exemplo e exercício, vamos utilizar os valores obtidos nos ensaios de maio de 2024, mencionados no tópico intitulado "vazão" deste capítulo.

Vazio (sem duto)

Com duto

Diâmetro: 30 cm (12 pol)

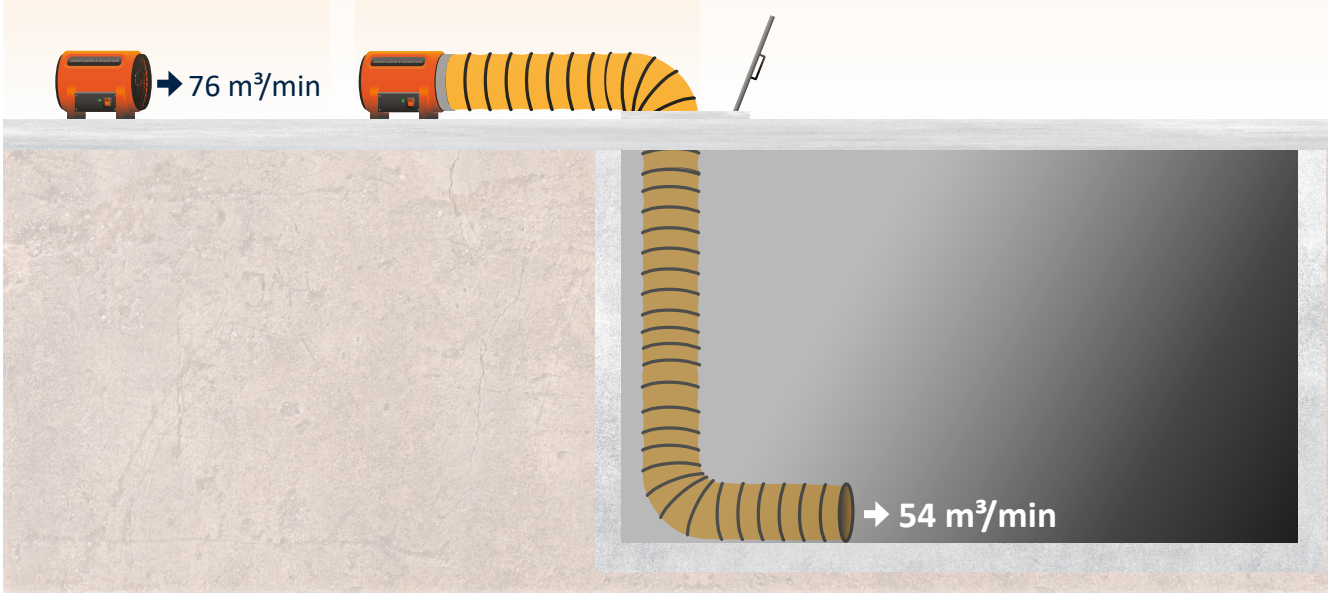
Comprimento: 7 m

Dobras: 2 de 90º

Vazão (vazio): 76 m³/min (100 %)

Duto (2 dobras de 90º): 54 m³/min (71%)

Perda: 29 %

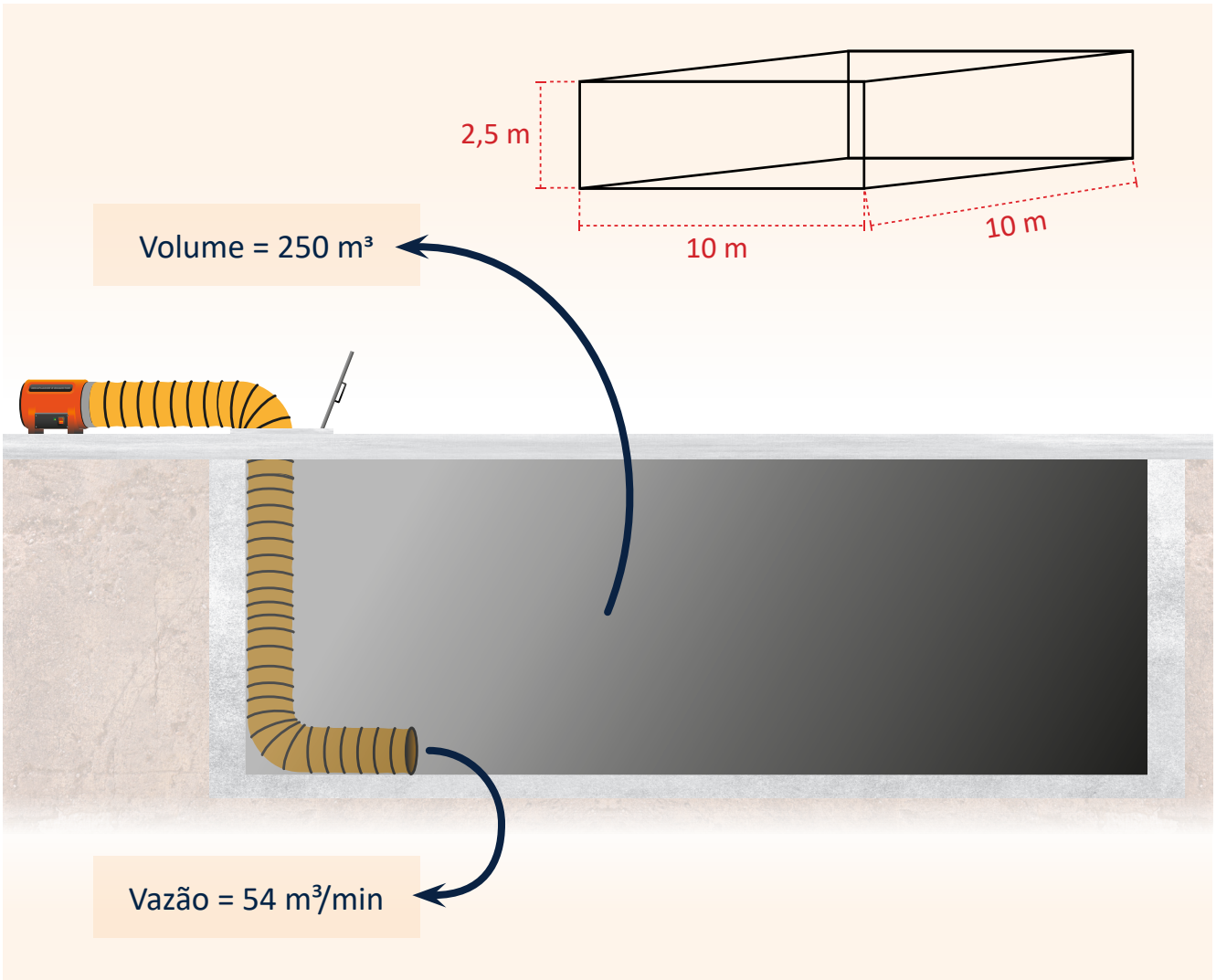


Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Os dois fatores principais

A vazão real do ventilador e o volume interno do espaço confinado são os fatores essenciais para o cálculo da ventilação, mas veremos que não são os únicos necessários.



O primeiro exemplo de cálculo é simples, mas de pouca serventia como veremos mais a seguir. Conhecendo o volume interno do espaço confinado e a capacidade de vazão do ventilador, basta dividir um valor pelo outro para obter o tempo necessário para insuflar o mesmo volume de ar para dentro do ambiente.

$$\text{Tempo de ventilação: } \frac{250\ m^3}{54\ m^3/min} = 4{,}6 \text{ minutos (4 minutos e 36 segundos)}$$

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Trocas de ar

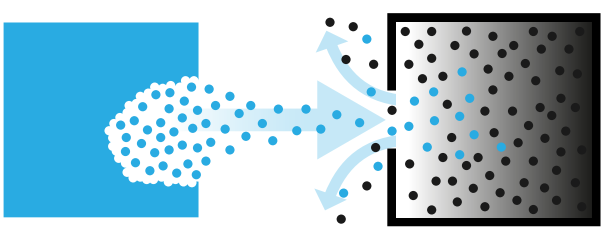
Na página anterior foi apresentado um cálculo simples, cujo resultado foi o tempo necessário para insuflar 250 m³ de ar fresco num espaço com 250 m³ de volume. Por causa da vazão do ventilador isso exigiria um pouco mais de 4 minutos. No entanto, não bastaria para renovar o ar do ambiente.

Vamos imaginar um copo de 250 ml preenchido com um líquido escuro. Se despejarmos sobre ele 250 ml de água limpa, não haverá uma rápida e completa troca de um fluído pelo outro dentro do copo. A água limpa irá se misturar aos poucos com o líquido escuro. Parte da água parcialmente misturada vai transbordar, e o resultado será ter dentro do copo uma água menos escura, por causa da mistura e diluição.

Para se conseguir uma água totalmente limpa dentro do copo, seria necessário despejar um fluxo contínuo de água limpa até que todo o volume dentro do copo fosse renovado. Deveria ser despejada quanta água fosse necessária até que só restasse dentro do copo água limpa e cristalina. Isso vale para a renovação de uma atmosfera dentro de um espaço confinado.

Mais adiante vamos abordar os cálculos de trocas de ar por hora. Essa referência não deve ser levada ao "pé da letra". Quando nos referimos, por exemplo, a dez trocas de ar por hora, não quer dizer que de fato, toda a atmosfera do ambiente será trocada inteiramente dez vezes. Isso tem a ver com a quantidade de ar que será movido em uma hora com base no volume do espaço.

A troca de ar não acontece em bloco. É um processo lento e gradual que acontece pela mistura e diluição.



Fator de segurança

7,5 x

Considerando os argumentos do item anterior, o quanto de ventilação será necessária para garantir a troca efetiva de uma atmosfera num espaço confinado?

Essa pergunta foi respondida na década de 70 por uma grande empresa de telecomunicações do Canadá. Após terem enfrentado acidentes em espaços confinados, e pressionados por órgãos de fiscalização a resolverem os problemas de segurança, a Bell Canadá realizou testes de ventilação em espaços confinados de diferentes configurações para obter um fator que garantisse a eficácia da ventilação. O resultado foi encontrar um fator multiplicador que deve ser aplicado ao cálculo inicial (volume dividido pela vazão do ventilador). Esse fator é de 7,5 x.

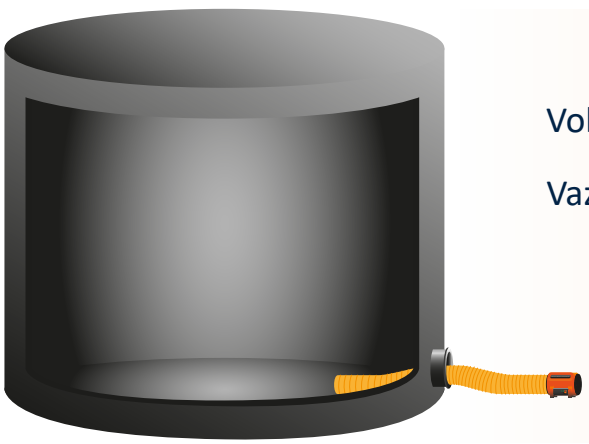
Considerando o cálculo que usamos anteriormente, em que para 250 m³ de volume, com um ventilador com uma vazão de 54 m³/min, seriam necessários 4,6 minutos, para encontrarmos o tempo necessário para a total renovação da atmosfera precisamos aplicar o fator de 7,5 x. Nesse caso, o resultado é de aproximadamente 34 minutos.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Ventilação inicial para liberação do espaço confinado

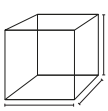
Faremos um novo exercício de cálculo, considerando um espaço confinado com 390 m³ de volume interno, com um ventilador de menor potência, no modo exasutor com um duto de 7 metros, com uma vazão de 39 m³/min.



Volume interno do espaço = 390 m³

Vazão do ventilador = 39 m³/min

T (tempo a ser calculado)



V (volume interno do espaço confinado) = 390 m³

C (capacidade de vazão do ventilador) = 39 m³/min

FS (Fator de segurança) = 7,5 x

Fórmula: $T = \frac{V}{C} \times 7{,}5$

Cálculo: $T = \frac{390\ m^3}{39\ m^3/min} \times 7{,}5$

$T = 10\ min \times 7{,}5$

$T = 75\ min$

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Manutenção das boas condições atmosféricas

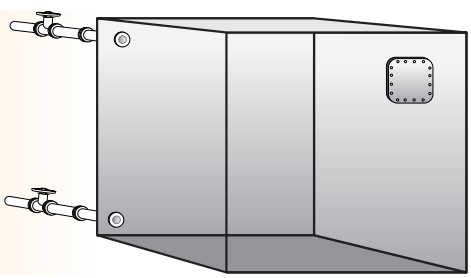
Na situação anterior a ventilação foi usada para adequar as condições atmosféricas à entrada de trabalhadores no espaço confinado. Uma outra situação que exige o planejamento de uma ventilação é a manutenção da qualidade do ar durante a permanência dos trabalhadores dentro desse espaço.

Nessa nova situação continua sendo necessário o cálculo do volume interno do espaço confinado. O que muda é que o resultado do cálculo não será mais o tempo. Será o volume de ar movido ao longo de cada hora de ventilação.

O NIOSH (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional do EUA) recomenda de 7 a 14 trocas de ar a cada hora em áreas não classificadas (sem risco de incêndio e explosão) e de 15 a 20 trocas para áreas classificadas (potencialmente explosivas).

A literatura técnica, como o livro *SAFETY and HEALTH in CONFINED SPACES* (Segurança e Saúde em Espaços Confinados) do autor Neil McManus, edição de 1999, alega ser considerada uma boa prática a aplicação de 20 trocas de ar por hora na ventilação de espaços confinados. Esse mesmo livro apresenta uma tabela com sugestões para o número de trocas de ar (de 10 a 60), que foi inserida num documento da Fundacentro de 2013 e na norma técnica ABNT NBR 16577 publicada no ano de 2017. Ela será comentada mais à frente.

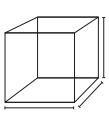
O cálculo terá como base o volume do espaço confinado. Na sequência deve ser determinado o número de trocas de ar por hora. O cálculo consiste em multiplicar o volume do espaço pelo número de trocas. Para facilitar a seleção do ventilador, pode-se dividir o resultado por 60 minutos, para se determinar a vazão necessária por minuto. Veja o exemplo abaixo:



Volume interno do espaço = 125 m³

Número de trocas de ar = 20

Q **Q** (Total da vazão para o número de trocas da atmosfera em 1 hora)



V (volume interno do espaço confinado) = 125 m³

n (número recomendado de trocas a cada hora) = 20

Fórmula: **Q = n x V**

Cálculo: **Q = 20 x 125 m³**

Q = 2.500 m³ em 1 hora

ou

42 m³/min

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Tabela de trocas de ar

Tabela B.1 – Recomendações de trocas de ar para ventilação em espaço confinado

Trocas de ar recomendadas por hora	Redução do contaminante	Condições
10	10 – 100 x	Mistura homogênea e liberação de contaminantes desprezível
20 - 30	10 – 100 x	Mistura pobre ou liberação significante de contaminantes
30 - 60	10 – 100 x	Mistura pobre e liberação significante de contaminantes
60-100 (somente o emprego de ventilação não é adequado)		Movimento do ar desprezível e alta liberação de contaminantes
NOTA Os parâmetros desta Tabela foram adaptados de *McManus, Safety and Health in Confined Spaces*, 1999		

No ano de 2013 o Ministério do Trabalho publicou um guia de orientação para a NR 33. Nesse documento foi inserida uma tabela com recomendações sobre o número de trocas de ar conforme a condição atmosférica. A fonte dessa tabela foi o livro de 1999 de Neil McManus, intitulado *SAFETY and HEALTH in CONFINED SPACES* (Segurança e Saúde em Espaços Confinados). Essa tabela foi novamente aproveitada na versão de 2017 da norma técnica sobre espaços confinados, a ABNT NBR 16577. Pela importância da norma, alguns profissionais passaram a encará-la como obrigatória, mesmo não sabendo como usá-la.

Essa tabela é vaga, e por si só, de difícil compreensão.

O problema com o aproveitamento dessa tabela em textos da importância do Guia da NR 33 e da norma técnica é que ela foi inserida sem comentários ou considerações. Deixaram de transcrever as próprias observações do Neil McManus a respeito dela. Veja abaixo a tradução de um trecho do livro em que o autor comenta a tabela:

> "A Tabela 11.12 fornece diretrizes gerais para ventilação de espaços confinados antes da entrada. Conforme salientado anteriormente, estas são oferecidas sem confirmação de que sejam, de fato, as melhores recomendações. Para muitos espaços, como grandes tanques e túneis, é difícil, se não impossível, calcular o volume apropriado para fins de ventilação com base nas "possibilidades de ar". Fornecer ventilação de 20 trocas de ar por hora, com base no uso de equipamentos portáteis, pode ser tecnicamente impossível ([1])."

([1]) Entenda como uma limitação para grandes espaços.

Tradução do trecho do livro *SAFETY and HEALTH in CONFINED SPACES*, 1999. Página de número 500. Traduzido pelo Google Tradutor.

CÁLCULO DE VENTILAÇÃO

Tabela de trocas de ar

Considerando que essa tabela, por mais vaga que seja, é apresentada em documentos importantes sobre espaços confinados, será oferecida uma interpretação dos dados contidos nela.

A tabela é constituída de três colunas, sendo que a primeira se relaciona com a terceira. A primeira coluna recomenda o número de trocas de ar em função da condição atmosférica descrita na terceira coluna.

1ª 2ª 3ª

Tabela B.1 – Recomendações de trocas de ar para ventilação em espaço confinado

Trocas de ar recomendadas por hora	Redução do contaminante	Condições	
10	10 – 100 x	Mistura homogênea e liberação de contaminantes desprezível	1ª linha
20 - 30	10 – 100 x	Mistura pobre ou liberação significante de contaminantes	2ª linha
30 - 60	10 – 100 x	Mistura pobre e liberação significante de contaminantes	3ª linha
60-100 (somente o emprego de ventilação não é adequado)		Movimento do ar desprezível e alta liberação de contaminantes	
NOTA Os parâmetros desta Tabela foram adaptados de *McManus, Safety and Health in Confined Spaces*, 1999			

2ª

A coluna do meio aborda a escala de diluição do contaminante. Isso significa que com a ventilação a concentração de um determinado contaminante será reduzida entre 10 vezes e 100 vezes. O resultado será, após a ventilação, ter a presença de apenas 10% ou apenas 1% do volume inicial presente no espaço confinado. Trata-se de uma escala muito ampla e imprecisa, e por isso de pouca serventia.

3ª

A terceira coluna descreve diferentes condições atmosféricas num espaço confinado.

1ª linha — A primeira linha da terceira coluna, a que recomenda 10 trocas de ar, considera uma atmosfera com uma boa oferta de ar e a presença de um volume insignificante de contaminante.

2ª linha — A segunda linha descreve uma atmosfera com uma oferta ruim de ar ou uma liberação considerável de contaminante. O texto considera uma das condições. Não as duas.

A palavra liberação causa confusão, lembrando que a versão brasileira da tabela é uma tradução. Num espaço confinado pode-se encontrar um volume perigoso de um contaminante mas que não está se agravando, situação grave mas estável. Porém, podem existir situações em que a condição continua se deteriorando por existir um vazamento ou, por exemplo, líquidos voláteis como solventes ou gasolina expostos ao ambiente, e que vão liberar vapores de forma ininterrupta, agravando cada vez mais a contaminação no decorrer do tempo. Para essa segunda situação cabe o termo liberação.

3ª linha — A terceira linha da terceira coluna indica uma situação em que as duas condições descritas na linha de cima acontecem simultaneamente, ou seja, uma condição em que há escassez de ar e ao mesmo tempo uma liberação considerável de contaminante.

Capítulo 6

Proteção Respiratória para atmosferas IPVS

O foco deste capítulo

O tema proteção respiratória é complexo, pois abrange problemas diferentes que exigem soluções diferentes.

Para que seja viável a abordagem desse tema dentro deste manual, a solução é apresentar respostas específicas para uma condição grave.

O foco será a atmosfera IPVS (abordada no capítulo sobre riscos atmosféricos), e para essa condição serão oferecidas duas soluções.

Neste capítulo serão abordadas as tecnologias de equipamentos autônomos e de linha de ar. Ambas fornecedoras de ar respirável para situações onde há carência de oxigênio ou concentrações muito altas de contaminantes, para as quais o uso de equipamentos filtrantes não é a solução, e a respiração humana precisa estar isolada da atmosfera do ambiente.

PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA

Visão geral

A proteção respiratória é uma das medidas para proteger os trabalhadores de riscos atmosféricos. O risco pode ser a insuficiência de oxigênio, ou pode ser a presença de substâncias tóxicas em concentrações acima dos limites de tolerância do ser humano.

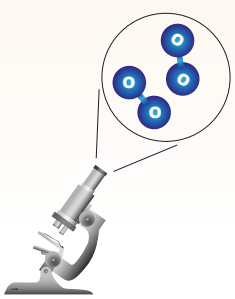
Deficiência de oxigênio

IPVS

ppO2 < 95 mm hg

ou

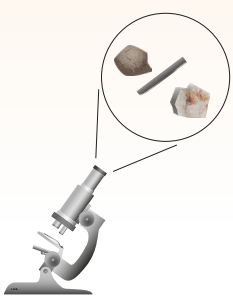
volume < 12,5% ao nível do mar



Contaminantes

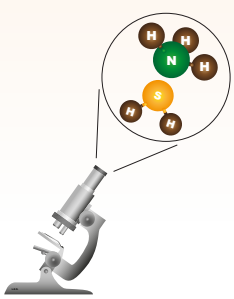
Aerodispersóides

- Poeiras
- Névoas
- Fumos



Gases e vapores

- Orgânicos
- Ácidos
- Alcalinos
- Inertes
- Especiais



Para proteger os trabalhadores da diversidade de riscos que podem existir em uma atmosfera, existem tecnologias diferentes de proteção respiratória que são classificadas em grupos.

Para simplificar a apresentação dessa variedade, podemos adotar dois grupos básicos de equipamentos, cujo critério é a relação deles com a presença ou a deficiência de oxigênio. Um grupo é denominado de dependentes, pois dependem do oxigênio presente no ambiente. O segundo grupo é denominado de independentes, pois fornecem o ar de uma outra fonte e não dependem do oxigênio existente no local de trabalho. São eles:

Purificadores ou dependentes

O primeiro grupo inclui os equipamentos denominados de purificadores ou filtrantes, porque são equipamentos que purificam o ar que será respirado pelo trabalhador, filtrando os contaminantes. Eles não fornecem oxigênio, portanto, dependem desse gás estar disponível no ambiente, e é por esse motivo que são chamados de dependentes.

De adução de ar ou independentes

O segundo grupo inclui os equipamentos que fornecem ar respirável. São utilizados em situações em que a atmosfera do local de trabalho não é segura para ser respirada, nem mesmo com o uso de máscaras filtrantes. Esses equipamentos são denominados adutores de ar ou independentes, já que não dependem do ar do ambiente.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

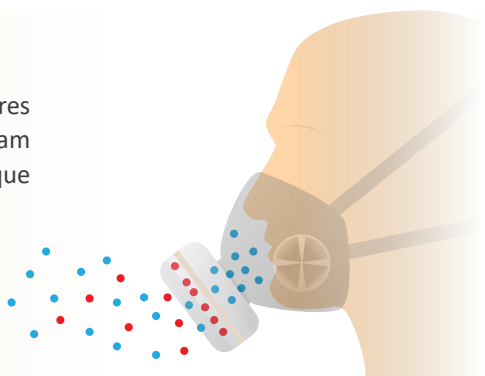
PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA

Equipamentos purificadores de ar ou dependentes

A função desses equipamentos é filtrar o ar, retendo as substâncias que podem afetar a saúde do trabalhador. Os filtros são específicos para determinados grupos de substâncias. Por exemplo, uma máscara pode proteger um indivíduo de partículas como poeiras, e pode ser própria para um determinado tamanho de partícula. Ou pode oferecer filtros para gases e vapores, específicos para determinados tipos de substâncias, como ácidas, alcalinas, entre outras. Portanto, a eficiência deles depende de se conhecer o contaminante e selecionar o equipamento apropriado.

Dentro das suas limitações, existe a dependência do oxigênio presente na atmosfera do local de trabalho. Eles funcionam como um filtro para água, que não fornece água, apenas a purifica. Do mesmo modo, os equipamentos filtrantes não fornecem oxigênio, apenas purificam o ar que será respirado.

Os filtros que compõem os equipamentos purificadores permitem a passagem do ar respirável, mas funcionam como uma barreira para substâncias específicas que sejam nocivas ao corpo humano.



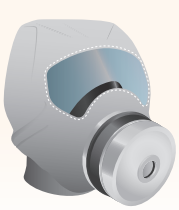
Esses equipamentos existem em uma grande variedade, podendo ser próprios para situações de emergência ou para usos prolongados. Podem ser descartáveis ou reutilizáveis, apresentar um formato que cobre apenas o nariz e a boca, ou podem cobrir todo o rosto. Podem incorporar uma touca e cobrir toda a cabeça. O que todos eles têm em comum é serem de uso individual, portanto, são classificados como EPI.

Abaixo estão representados alguns exemplos dessa variedade, que não representam todas as tecnologias disponíveis, apenas as mais comuns.

Semifacial descartável

Semifacial reutilizável

Facial inteira


Capuz

Equipamentos com fluxo de ar motorizado

Bomba de ar motorizada

Capacete e viseira

Capuz

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA

Fator de Proteção Atribuído (FPA)

Esse fator se refere à eficiência do respirador para proteger o trabalhador, pois a maioria dos equipamentos de proteção respiratória conseguem apenas reduzir a quantidade de contaminante que será respirada pelo usuário. Por exemplo, numa atmosfera contaminada com poeira, uma máscara filtrante semifacial pode reduzir em 10 vezes a quantidade de partículas que o usuário vai respirar. Então, numa atmosfera contaminada com 40 mg/m³ de poeira suspensa no ar, com o uso do respirador adequado e usado de forma correta, espera-se que o trabalhador respire no máximo 4 mg/m³ ao longo do período de trabalho. Isso somente será aceitável se esse valor estiver abaixo do limite de tolerância determinado para o tipo de contaminante presente na atmosfera.

Para cada tipo ou classe de respirador há um valor atribuído para determinar o grau de proteção que ele proporcionará. Esses valores variam entre 5 e 10.000, e são válidos se o uso do equipamento obedecer aos vários requisitos determinados pelo programa de proteção respiratória (PPR), destacando-se a seleção correta do respirador, a adequação do modelo à anatomia do rosto do usuário, o uso contínuo e correto do equipamento como resultado de um bom treinamento, entre outros requisitos.

Não existem equipamentos que ofereçam 100% de proteção, ou seja, que possam garantir que o usuário, em momento algum, não irá respirar alguma dose do contaminante. Mas existem tecnologias que oferecem um grau muito elevado de proteção, como os respiradores de adução de ar com pressão positiva.

Este tópico é importante para enfatizar a importância dos respiradores abordados neste manual.

Veja a comparação do Fator de Proteção Atribuído para alguns equipamentos representados abaixo:

Máscara descartável semifacial FPA = de 5 a 10

Máscara reutilizável semifacial FPA = 10

Máscara facial inteira FPA = 100

Purificador motorizado FPA = 1.000

Linha de ar comprimido FPA = 1.000

Equipamento autônomo FPA = até 10.000

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

E se a concentração do contaminante for alta demais para o filtro, ou se houver carência de oxigênio?

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS DE ADUÇÃO DE AR OU INDEPENDENTES

Existem situações em que os equipamentos purificadores (filtrantes / dependentes) não podem oferecer a proteção adequada, como por exemplo em atmosferas IPVS, seja pela alta concentração do contaminante ou pela deficiência de oxigênio. Os equipamentos purificadores também não são uma opção de proteção quando não é possível a identificação do contaminante, ou não é possível medir a concentração do contaminante presente na atmosfera.

Uma outra limitação, já abordada, sobre os equipamentos purificadores de ar, é que não fornecem oxigênio, e se esse não existir na atmosfera em quantidade suficiente, o trabalhador estará exposto a um grave risco.

Existem outras situações em que não é aconselhável respirar o ar do ambiente de trabalho como, por exemplo, quando esse ar estiver a uma temperatura muito alta para ser respirado.

Em todos esses casos a solução apropriada será fornecer ao trabalhador um ar saudável de uma outra fonte, como é feito pelos sistemas de ar comprimido que coletam o ar de um ambiente externo ou fornecem o ar armazenado em cilindros de ar comprimido.

Entre os sistemas de ar comprimido, os dois mais utilizados são os equipamentos autônomos (máscara autônoma) ou os de linha de ar, também conhecidos como ar mandado. Esses dois sistemas são os focos deste manual.

Existe uma variedade de tecnologias para os sistemas de adução de ar, como, por exemplo, os equipamentos autônomos de circuito aberto ou circuito fechado e as suas variações. Existem sistemas de linha de ar de baixa pressão, de alta pressão, de fluxo contínuo ou de demanda. Para fins de simplificação, este manual abordará as soluções de ar comprimido, de circuito aberto, com pressão positiva e sob demanda.

Além da variação das fontes de suprimento de ar, também existe uma variedade de peças faciais, como a semifacial, a facial inteira, o capuz, o capacete, entre outros. Este manual irá focar na peça facial inteira com válvula de demanda, por ser a opção adequada aos ambientes com atmosferas IPVS.

Equipamento autônomo
(máscara autônoma)

Sistema de linha de ar comprimido
(ar mandado)

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS DE ADUÇÃO DE AR OU INDEPENDENTES

Equipamentos autônomos (máscara autônoma)

Entre os equipamentos classificados como autônomos, existem os de circuito aberto e os de circuito fechado. O foco deste manual será os equipamentos de circuito aberto.

Circuito aberto

O equipamento autônomo (máscara autônoma) é um equipamento que possui um suprimento portátil de ar comprimido. O ar é armazenado em um cilindro instalado num suporte e carregado nas costas do usuário. O ar respirável dentro do cilindro supre a máscara (peça facial) e é utilizado na respiração do trabalhador. O ar exalado é expelido para o meio externo através de uma válvula de exalação. Esse processo caracteriza o circuito aberto.

Entre os equipamentos autônomos, essa é a tecnologia mais empregada. A desvantagem dessa tecnologia é a limitação da autonomia, ou seja, a quantidade de ar que determina um tempo limitado de uso.

Circuito fechado

O equipamento autônomo de circuito fechado tem um propósito semelhante ao do circuito aberto, porém, trata-se de um sistema mais complexo e que oferece como principal vantagem um suprimento muito maior de ar respirável. Embora exista mais de uma tecnologia para o suprimento de oxigênio, o mais comum se constitui de um sistema fechado de reciclagem de ar, onde o ar exalado pela respiração volta ao sistema, tem o gás carbônico filtrado e o oxigênio absorvido pela respiração é reposto por um cilindro de oxigênio comprimido. Assim, o ar renovado volta para a peça facial para ser respirado.

Trata-se de uma tecnologia mais sofisticada e muito mais cara que o sistema de circuito aberto. Entretanto, oferece uma autonomia (tempo de uso) muito maior.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS DE ADUÇÃO DE AR OU INDEPENDENTES

Equipamentos autônomos (máscara autônoma)

Denominação

Existe uma norma técnica específica para este tipo de equipamento, que é a ABNT NBR 13716, que o denomina máscara autônoma de ar comprimido. No entanto, o emprego da palavra máscara para designar o conjunto deveria ser revisto. A palavra máscara existe no vocabulário da língua portuguesa e significa “peça com que se cobre parcial ou totalmente o rosto”. Por isso, em algumas frases o termo máscara autônoma para designar o conjunto de proteção respiratória torna-se confuso. Como a palavra máscara é designada para o conjunto, tornou-se necessário empregar o termo peça facial para nomear a verdadeira máscara que cobre o rosto do usuário.

No mercado brasileiro são adotados cotidianamente outros termos como conjunto autônomo, equipamento autônomo ou equipamento de proteção respiratória autônomo. Neste manual foi adotada a designação equipamento autônomo.

Caracterização

O que caracteriza esse tipo de proteção respiratória é o fato de o usuário transportar nas costas o suprimento de ar que irá respirar. Porém, essa única característica não é suficiente para especificar o tipo de equipamento. Para sermos mais específicos temos que determinar que o foco deste manual é o equipamento autônomo de ar comprimido, de circuito aberto, de demanda com pressão positiva. Os tópicos seguintes ajudarão a compreender essas designações.

Para os modelos de circuito aberto, a norma técnica ABNT NBR 13716 determina dois tipos, que são o tipo I para uso industrial e o tipo II para combate a incêndio, cuja diferença encontra-se na resistência ao calor de alguns dos componentes do conjunto.

Por padrão, o que ambos os tipos apresentam em comum é fornecerem ar com uma válvula de demanda e com uma pressão positiva no interior da peça facial (máscara).

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

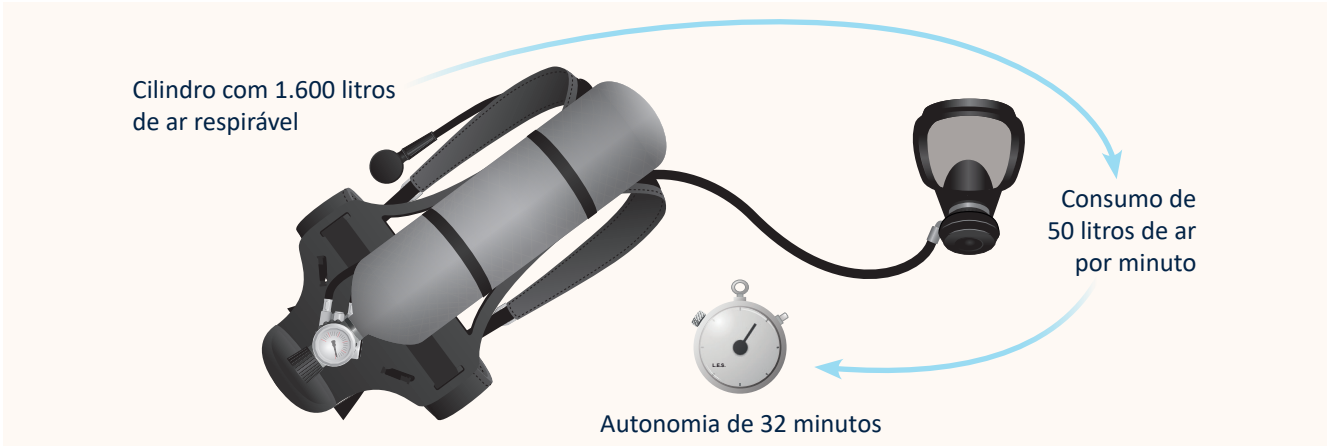
Vantagens e desvantagens

A lista de vantagens desse tipo de equipamento inclui a rapidez com que se pode equipar um trabalhador da indústria ou um bombeiro e deixá-lo pronto para a ação. A outra vantagem importante é a mobilidade que ele proporciona para o usuário, já que o suprimento de ar o acompanha durante todo o tempo sem ter que puxar longas mangueiras por caminhos muitas vezes tortuosos.

A qualidade do ar que será respirado pelo usuário é uma outra importante vantagem desse tipo de equipamento. Isso, obviamente, considerando que os cuidados no carregamento dos cilindros foram adotados e que a manutenção apropriada do conjunto foi executada.

Uma desvantagem quando comparado com o sistema de linha de ar (ar mandado), é o de oferecer um suprimento limitado de ar. O usuário pode contar somente com a quantidade de ar que ele está transportando dentro do cilindro. Se esse suprimento não for suficiente para o tempo da tarefa, o usuário precisa interromper a atividade, se deslocar para um local seguro e proceder à substituição do cilindro vazio por um outro cheio.

O fato de ter que transportar o conjunto nas costas impõe ao usuário o peso do equipamento, e em locais apertados pode criar dificuldades em se movimentar, com o cilindro esbarrando, batendo ou se prendendo nas superfícies. Os eventuais choques do equipamento com essas superfícies pode causar danos ao cilindro.



Autonomia

A palavra autonomia é aplicada para determinar o tempo de fornecimento de ar oferecido por um cilindro, ou seja, quanto tempo o usuário terá para respirar o ar de um cilindro. O que determina essa autonomia (tempo) são dois fatores, que são o consumo de ar pelo usuário e a quantidade de ar armazenada dentro do cilindro. Sendo ambos os valores muito variáveis.

A capacidade dos cilindros de ar comprimido varia muito. Considerando cilindros entre 6,8 e 9 litros de volume com uma pressão de 300 bar, a quantidade de ar pode variar entre 1.600 e 2.700 litros.

O consumo humano varia ainda mais, podendo uma pessoa consumir, por exemplo, os 1.600 litros de ar de um cilindro em 15 minutos ou menos, enquanto uma outra pessoa pode estender essa autonomia consumindo essa mesma quantidade de ar ao longo de mais de 50 minutos. Mas adiante o consumo de ar será tratado com mais profundidade.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

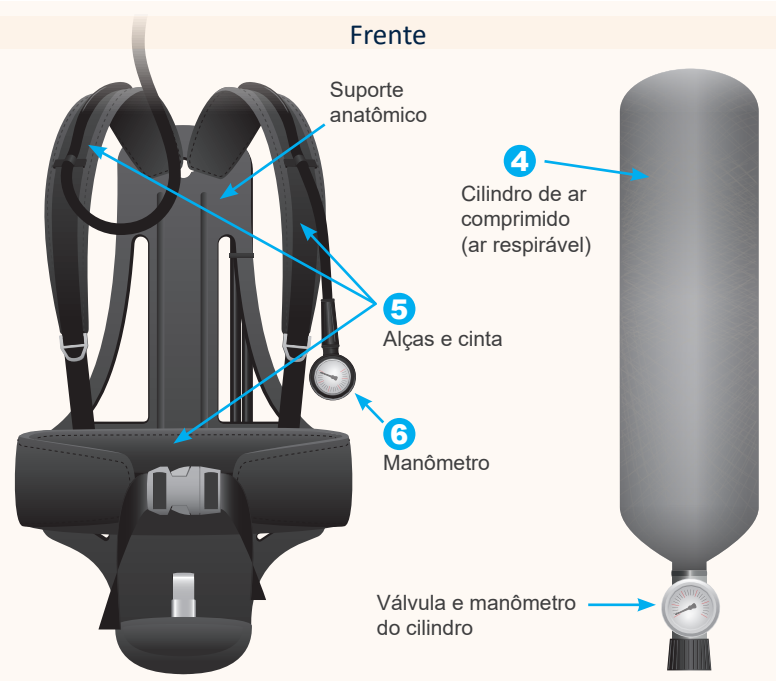
EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

Componentes básicos de um equipamento autônomo

Abaixo são apresentados os principais componentes do conjunto autônomo de ar comprimido sob demanda e pressão positiva.

Costas

Frente



1 Peça facial inteira

Este modelo de máscara é o padrão para os sistemas de ar comprimido de pressão positiva.

2 Válvula de demanda

É o último estágio e tem a função de fornecer o ar no ritmo respiratório do usuário. Também tem a função de regular a pressão e a vazão de ar para uma condição respirável.

3 Válvula redutora de pressão

É o primeiro estágio do sistema de ar comprimido e tem a função de reduzir significativamente a pressão do ar que sai do cilindro e vai para a válvula de demanda, bem como suprir o manômetro.

4 Cilindro de ar comprimido

Armazena ar respirável sob alta pressão.

5 Alças e cinta

Juntamente com o suporte anatômico são responsáveis por manter o conjunto sustentado pelo corpo do usuário de forma estável, segura e confortável.

6 Manômetro

Pode ser analógico ou digital. Tem a função de indicar a pressão do ar dentro do cilindro, permitindo ao usuário avaliar a quantidade e o tempo de suprimento desse ar.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

Componentes básicos de um equipamento autônomo

A seguir será oferecida uma descrição mais detalhada dos principais componentes do equipamento autônomo.

Peça facial inteira

Os tipos de cobertura das vias aéreas variam bastante. No entanto, o equipamento padrão para o conjunto autônomo é a chamada peça facial inteira, lembrando que a denominação peça facial se faz necessária já que a palavra máscara foi adotada para o conjunto (máscara autônoma).

Esse tipo de peça facial (máscara), além de cobrir todo o rosto, protegendo as vias aéreas e os olhos, também oferece como benefício um bom ajuste ao rosto e consequentemente uma boa vedação, permitindo que se mantenha dentro da máscara a pressão positiva.

A pressão positiva significa que a pressão interna é maior que a pressão externa. Isso faz com que num eventual vazamento o escape do ar seja de dentro para fora. Portanto, não há o risco de o ar contaminado penetrar para o interior da máscara. Isso, e o fato de o ar fornecido para o usuário ser de boa qualidade e independente da atmosfera do ambiente de trabalho, faz do equipamento autônomo de ar comprimido por demanda com pressão positiva aquele que oferece o maior fator de proteção atribuída.

Esse tipo de peça é fabricada com materiais como borracha natural, borracha sintética e silicone, e existem em três diferentes tamanhos (P, M e G). Por causa dessa variedade de tamanhos, pelo fato de usar como matéria prima um material elástico (elastômero) nas partes que tem contato com o rosto, com um bom recurso de ajuste e fixação, ela proporciona um bom ajuste e consequentemente uma boa vedação no rosto de diferentes pessoas.

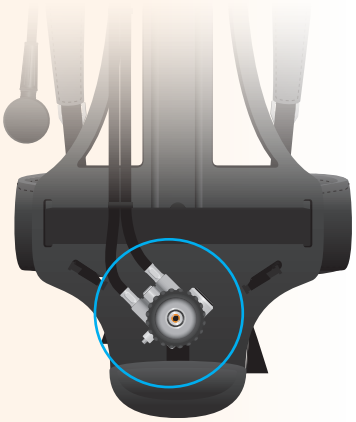
Existe uma norma técnica específica para esse equipamento que é a ABNT NBR 13695, que determina os requisitos mínimos de qualidade e as metodologias de ensaios para avaliação de conformidade e certificação.

Válvula de demanda

A válvula de demanda recebe essa denominação porque supre a máscara do usuário com ar em função do ritmo respiratório humano. A válvula de demanda é acionada, ou seja, ela libera a passagem de ar, todas as vezes em que o usuário inspirar o ar para dentro dos pulmões. Ao sugar o ar para dentro do corpo, a respiração diminui a pressão interna dentro da máscara e a válvula de demanda libera a vazão de ar. Ao exalar o ar para fora dos pulmões, a respiração aumenta a pressão dentro da máscara e provoca a liberação desse excesso de pressão através de uma outra válvula chamada de válvula de exalação. Essa válvula de exalação é que mantém a pressão positiva, pois ela é regulada para oferecer uma certa resistência, liberando apenas a quantidade de ar suficiente para manter a pressão adequada dentro da máscara.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS



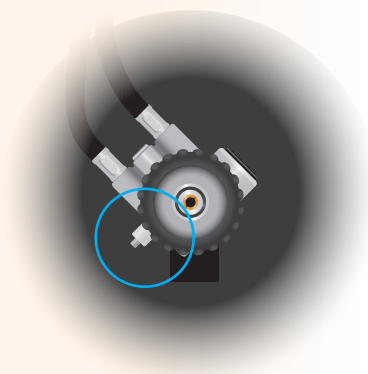
Válvula redutora de pressão

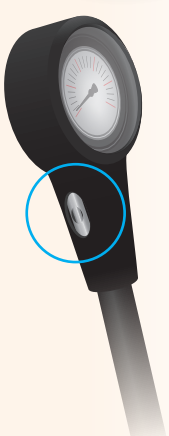
Ela é o primeiro estágio do sistema e é responsável por conectar o cilindro de ar comprimido ao conjunto. A sua principal função é a de reduzir significativamente a pressão do ar que sai do cilindro, como por exemplo, de 300 bar para algo em torno de 6 bar.

O valor de 6 bar de pressão ainda é alto, já que equivale a seis vezes a pressão atmosférica, por isso essa parte do sistema é denominada média pressão. A pressão do ar somente será convertida para um valor próximo da pressão atmosférica no segundo estágio, que é a válvula de demanda, conectada à máscara.

A outra função da válvula redutora é a de conectar o manômetro, responsável pela indicação da pressão existente dentro do cilindro.

Alguns fabricantes instalam nesta válvula o dispositivo do alarme de baixa pressão.





Alarme de baixa pressão

Os equipamentos autônomos devem oferecer um alarme para alertar o usuário de que o ar do cilindro está próximo de acabar.

A norma técnica dos equipamentos autônomos (máscaras autônomas), a ABNT NBR 13716, determina que o alarme deve ser acionado quando a pressão dentro do cilindro tiver sido reduzida para 5 MPa (megapascal), que equivale a 50 bar ou a 725 psig, ou quando o volume de ar for reduzido a 200 litros. Se considerarmos um consumo humano de 50 litros por minuto, o usuário contará com 4 minutos restantes de ar.

O alarme pode ser contínuo, intermitente ou vibratório, e deve funcionar por um tempo que pode variar entre 15 segundos e 60 segundos dependendo do tipo de alarme.

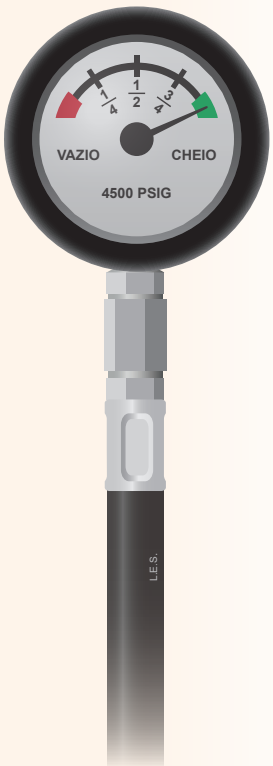
O alarme sonoro deve emitir o som com no mínimo 90 dBA (decibéis) de intensidade, medido no ouvido mais próximo do dispositivo.

Existem tecnologias compostas de partes eletromecânicas e eletrônicas para a medição da pressão e para a produção do som. Entretanto, o dispositivo mais usado para o alarme é mecânico, acionado quando a pressão do cilindro for reduzida a ponto de permitir que uma peça se mova e abra passagem para o ar que produzirá um ruído forte.

A localização desse dispositivo varia entre os fabricantes, podendo estar localizada na válvula redutora de pressão ou instalada no manômetro.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS



Manômetro

Com o usuário dispondo de um suprimento limitado de ar, e com uma autonomia que pode ser de poucos minutos, monitorar a pressão existente dentro do cilindro é imprescindível.

O dispositivo que mede a pressão do cilindro é chamado de manômetro, que existe para medir fluídos, sendo que neste caso o fluído é o ar.

Na prática, através de um manômetro é possível para o usuário estimar o tempo restante de ar. A informação fornecida pelo manômetro será a pressão, e com ela é possível calcular o volume de ar em litros, e tendo-se uma ideia do consumo, é possível estimar o tempo restante.

Os manômetros analógicos, que funcionam com peças mecânicas para medir e indicar a pressão, são de longe os mais usados pelo mercado por causa do custo comparativamente menor, pela facilidade de manutenção e pelo fato de não precisarem de uma fonte de energia elétrica para funcionar.

Existem os manômetros digitais, bem menos empregados que os analógicos, por serem muito mais caros, com uma manutenção diferente, já que envolvem componentes eletrônicos, e com uma limitação adicional que é a fonte de energia. Porém, oferecem recursos adicionais importantes para os usuários que enfrentam ambientes muito perigosos, como acontece com os bombeiros.

Os manômetros digitais podem incorporar vários recursos para os usuários, como uma tela de cristal líquido. Podem indicar a temperatura ambiente, podem conter o alarme de inércia (homem-morto) e podem oferecer um alarme de pânico para ser ativado em situações em que o usuário necessita de ajuda. Podem permitir o emprego da telemetria, que permite o monitoramento remoto dos dados do equipamento por uma outra pessoa fora da área de perigo.

Suporte anatômico, alças e cinta

O suporte anatômico é basicamente uma placa com um formato que se adapta às costas do usuário e sobre a qual é instalado o cilindro e a maior parte dos componentes do sistema. São conectadas a ela um par de alças para os ombros e uma cinta que envolve o abdômen do usuário.

Nas normas técnicas são utilizados termos como correias ou arreios. Porém, não há motivos para não serem usados termos mais comuns como alças e cinta, ou cinturão. As alças têm o propósito de manter o cilindro equilibrado nas costas e a cinta abdominal tem como principal função sustentar a maior parte do peso do conjunto, fazendo com que o esforço maior recaia sobre os músculos do quadril e das pernas do usuário. O uso da cinta (cinturão) perfeitamente ajustada ajuda a economizar energia no transporte do equipamento, que pode chegar a pesar até 18 kg.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

PSIA e PSIG

O manômetro é um equipamento que mede a pressão de fluidos, que no contexto deste manual trata-se do ar. Quando o manômetro utiliza a unidade PSI (libra-força por polegada quadrada) ele pode indicar a sigla PSIG.

Ao utilizar a unidade PSI podem existir duas escalas diferentes, que são a PSIA e PSIG. A letra A indica a pressão absoluta, originada da palavra em inglês “absolute”. A letra G se origina da palavra em inglês “Gauge”, cuja tradução é manômetro ou manométrico.

Na escala da pressão absoluta (PSIA) a base é o 0 absoluto, o vácuo perfeito, então quando afirmamos que a pressão atmosférica, a nível do mar, é de 14,7 PSIA estamos dizendo que existe 14,7 psi de pressão acima do 0. Já a escala PSIG é relativa, e sempre que nos referimos a uma medida relativa significa que está sendo usada uma outra como referência, que no caso é a pressão atmosférica. Todo valor de PSIG está acima da pressão atmosférica, e é possível existir valores positivos e negativos.

Para se obter a pressão absoluta (PSIA) é necessário somar os valores da pressão atmosférica e da pressão relativa (PSIG).

PSIA = pressão absoluta

Utiliza como referência o 0 absoluto, o vácuo perfeito.

PSIG = pressão manométrica (relativa)

Utiliza como referência a pressão atmosférica.

MANÔMETRO

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

Cilindros de ar comprimido

Qualidade do ar

É preciso destacar que os cilindros utilizados nos sistemas de proteção respiratória devem oferecer ar com boa qualidade para ser respirado. Ou seja, deve oferecer um ar cuja composição de gases se assemelhe ao ar atmosférico (oxigênio e nitrogênio) e com um controle rígido sobre a presença de contaminantes.

A qualidade do ar exigida para os equipamentos autônomos e de linha ar tem como base normas internacionais que são contempladas na norma técnica nacional ABNT NBR 12543, cuja classificação recebe a denominação de ar respirável grau D. Esse padrão determina a concentração de oxigênio, a quantidade de vapor de água, o ponto de orvalho (condensação e risco de congelamento da água), a quantidade máxima de óleo (contaminante), de monóxido de carbono, de dióxido de carbono e de odor.

Volume dos cilindros

Existem no mercado diferentes tamanhos de cilindros. Existem cilindros pequenos, para uso exclusivo em situações de fuga, com 2 litros de volume, com pressões entre 200 e 300 bar, armazenando de 400 a 600 litros de ar respirável e com autonomias entre 8 e 12 minutos, considerando um consumo humano de 50 litros por minuto. Existem os grandes cilindros para sistemas fixos (não transportáveis) em sistemas de cascata com volumes de até 50 litros e 300 bar de pressão, sendo capazes de armazenar 15.000 litros de ar respirável. Para o equipamento autônomo o tamanho, o peso, o volume interno e a pressão devem equilibrar a quantidade do suprimento do ar com a característica de ser transportável, já que usuário precisa carregá-lo nas costas.

Quando o equipamento autônomo se destina ao uso por bombeiros, existe uma exigência para que o suprimento de ar seja de no mínimo 1.600 litros (referência de origem europeia). Para se obter essa quantidade de ar os modelos mais comuns de cilindros costumam apresentar 6,8 litros de volume e uma pressão de 300 bar ou o equivalente em psi.

Pelos padrões americanos o suprimento de ar deve ser maior, por isso, com base nessas influências os cilindros mais utilizados no Brasil variam entre 6,8 e 9 litros de volume, com 300 bar de pressão ou o equivalente em psi.

Ainda são comercializados os cilindros de aço com 7 litros de volume e 200 bar de pressão, bastante populares no passado, mas que vem caindo em desuso, sendo substituídos por cilindros mais leves e com maior capacidade de armazenamento.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

Material de construção do cilindro

Os cilindros de aço ainda são utilizados, mas com o passar dos anos a preferência tem sido pelos modelos construídos com materiais leves, relegando os equipamentos de aço para algumas poucas e específicas situações.

Cilindro de aço

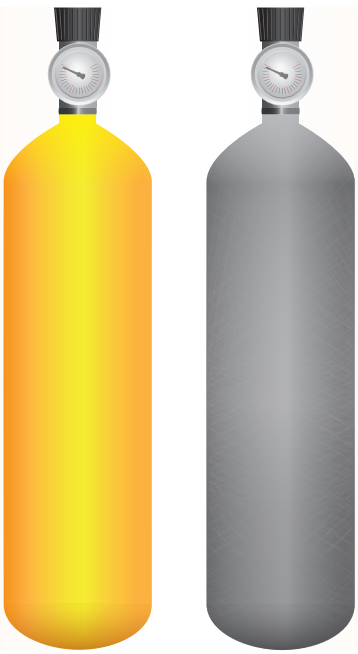
Volume: **7 litros**

Peso cheio: **12,5 Kg**

Pressão Máxima: **200 bar**

Vol. de ar comprimido: **1400 litros**

Existem no mercado cilindros de aço de 300 bar.



Cilindro de material compósito

Volume: **6,8 litros**

Peso cheio: **6,6 Kg**

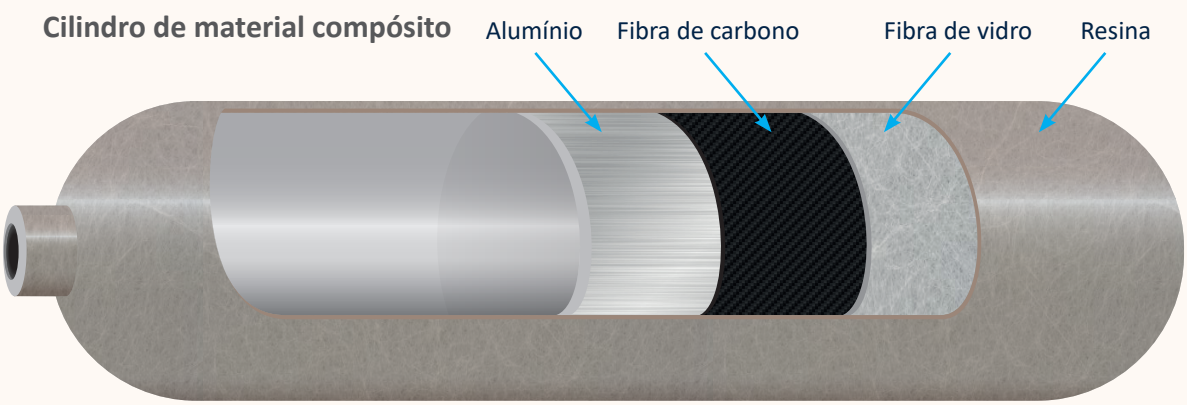
Pressão Máxima: **300 bar**

Vol. de ar comprimido: **2040 litros**

Observação: os dados apresentados são meramente ilustrativos e tem como base informações de catálogos.

Os cilindros de material compósito (ou composite em inglês), são construídos com múltiplas camadas de diferentes materiais para se obter resistência e leveza. No caso dos cilindros de ar comprimido usados nos equipamentos de proteção respiratória, a estrutura começa com um cilindro de alumínio e sobre ele são aplicadas uma sucessão de camadas. A primeira camada aplicada sobre o alumínio é de fibra de carbono (muito leve e muito resistente), a segunda camada é de fibra de vidro e a terceira e última camada é de resina que tem a função de proteger as demais camadas.

Cilindro de material compósito



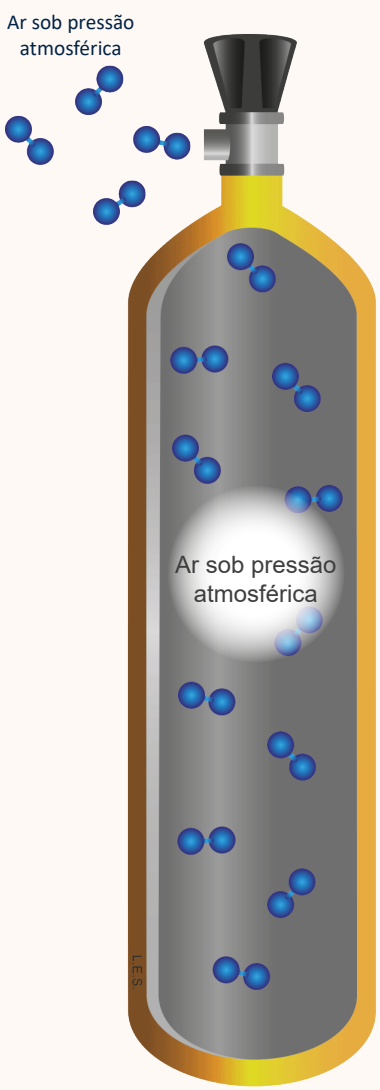
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

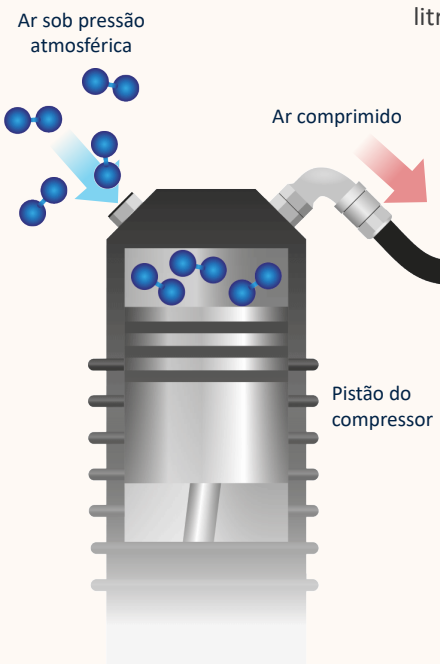
EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

Volume x Pressão

Um cilindro de ar com uma capacidade interna de 6 litros (0,0006 m³), sob o efeito apenas da pressão atmosférica, armazenará 6 litros de ar. Mas esse volume é muito pouco para suprir as necessidades de uma atividade. Os 6 litros de ar serão consumidos em um minuto por uma pessoa em estado de repouso. Então, para ser útil em uma atividade de trabalho ou numa operação de emergência, esse mesmo cilindro tem que oferecer um volume muito maior de ar. A solução está em comprimir dentro dele uma quantidade maior de ar. Em outras palavras, a solução é espremer dentro do cilindro o máximo de ar que for possível.

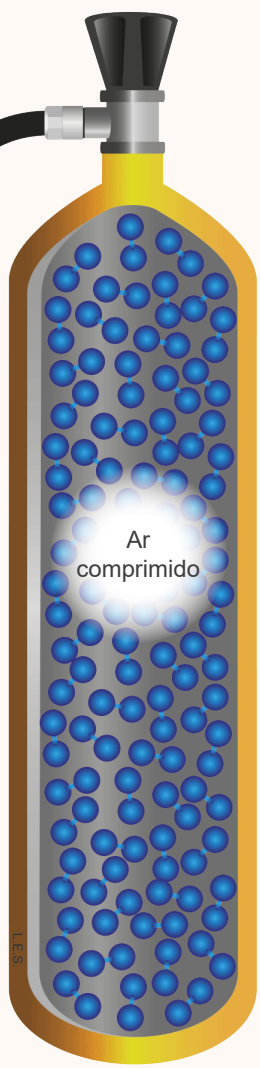
Um cilindro com um volume interno de 0,0006 m³ (6 litros), apenas sob o efeito da pressão atmosférica, pode armazenar 6 litros de ar.





Obs.: Essa ilustração é uma representação simplificada do sistema. Em situações reais o ar que sai do pistão passa por um tratamento antes de ser carregado no cilindro.

O mesmo cilindro, aproveitando a pressão máxima, pode armazenar em seu interior 1.800 litros de ar.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

Pressão dos cilindros

No tópico anterior vimos que a forma de armazenar um volume maior de ar respirável em um cilindro é sob pressão. Sabemos que a unidade do Sistema Internacional para pressão é o pascal (Pa). No entanto, o mercado utiliza habitualmente outras duas unidades de medida para determinar a pressão de um cilindro. Se fosse utilizada a unidade pascal (Pa) ou o quilopascal (kPa), teríamos números muitos grandes, por isso a unidade mais utilizada é o Bar (ba), e alguns fabricantes utilizam o psi. Exemplificando, um cilindro que pode suportar 300 bar de pressão, com esse valor convertido para pascal o número seria de 30 milhões de pascal (Pa) ou 30 mil quilopascal kPa.

A pressão que pode ser aplicada nos cilindros depende principalmente da tecnologia utilizada na sua construção. É comum que cilindros de aço ofereçam 200 bar de pressão. Os de material compósito (várias camadas) costumam oferecer 300 bar de pressão. Existem cilindros com valores menores e maiores de pressão.

300 bar de pressão equivale a:

- 30.000.000 Pa (Pascal)
- 4.350 psi (libra-força por polegada quadrada)
- 306 kgf/cm² (quilogramas-força por centímetro quadrado)

Valores aproximados

Volume de ar nos cilindros

Para sabermos a quantidade de ar que um cilindro pode armazenar devem ser considerados dois valores, que são o volume interno em litros e a pressão do ar comprimido. Se a indicação da pressão do cilindro utilizar a unidade bar, o cálculo é muito simples. Basta multiplicar o volume pela pressão. Veja o exemplo:

Volume interno do cilindro: 7 litros — Pressão: 300 bar

7 litros x 300 bar = 2.100 litros de ar comprimido

Quando o fabricante utiliza a unidade psi para indicar a pressão do cilindro, é necessário fazer a conversão para bar antes de calcular o volume de ar. Um bar equivale a 14,7 psi, mas para a simplificação do cálculo é admissível arredondar esse valor para 15. Uma vez feita a conversão, basta repetir a operação descrita acima. Veja o exemplo:

Volume interno do cilindro: 6 litros — Pressão: 3.000 psi

Conversão de psi para bar

3.000 psi / 15 = 200 bar

Cálculo da quantidade de ar

6 litros x 200 bar = 1.200 litros de ar comprimido

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

EQUIPAMENTOS AUTÔNOMOS

Autonomia e reserva de segurança

Existe um procedimento de segurança adotado pelos bombeiros que é manter uma reserva de 50 bar no suprimento de ar. Isso significa que nos cálculos da autonomia são subtraídos 50 bar de pressão. Para ficar mais fácil de entender, vamos calcular o tempo de ar com o qual um bombeiro pode contar, considerando alguns valores comuns. Um cilindro de 7 litros de volume, 300 bar de pressão e um consumo de 50 litros de ar por minuto.

Capacidade do cilindro

Volume interno do cilindro: 7 litros

Pressão: 300 bar

7 litros x 300 bar = 2.100 litros

Autonomia do cilindro

Consumo na respiração: 50 litros por minuto.

Tempo de duração do ar: 2.100 L / 50 L/m = 42 minutos.

A autonomia do cilindro é de 42 minutos.

Obs: essa autonomia varia conforme o consumo de ar que pode ser maior ou menor.

Com a reserva de segurança

Volume interno do cilindro: 7 litros.

Pressão: 300 bar - **reserva de 50 bar** = 250 bar.

7 litros de volume x 250 bar = 1.750 litros de ar comprimido.

Consumo na respiração: 50 litros por minuto.

Tempo de duração do ar: 1.750 L / 50 L/m = 35 minutos.

A autonomia do cilindro é de **35 minutos além da reserva de segurança**.

Na prática, esse procedimento visa preparar o bombeiro ou o trabalhador com uma expectativa de tempo de atividade, de modo que ele não seja surpreendido com o alarme de baixa pressão.

Existe no Brasil a exigência normativa para que o alarme de baixa pressão seja acionado quando a pressão do cilindro baixar para 50 bar ou para uma pressão que garanta no mínimo 200 litros de ar restante. Essa pequena reserva existe para que o usuário tenha chance de abandonar o local de perigo e retornar para uma área segura. Mas com o estresse do alarme e o esforço físico de se locomover para um lugar seguro, essa reserva pode oferecer apenas 4 minutos ou menos de ar. Vem daí a necessidade do usuário de se programar para abandonar o local de risco antes que o alarme dispare.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Soluções para um fornecimento longo ou ininterrupto de ar em atmosferas IPVS

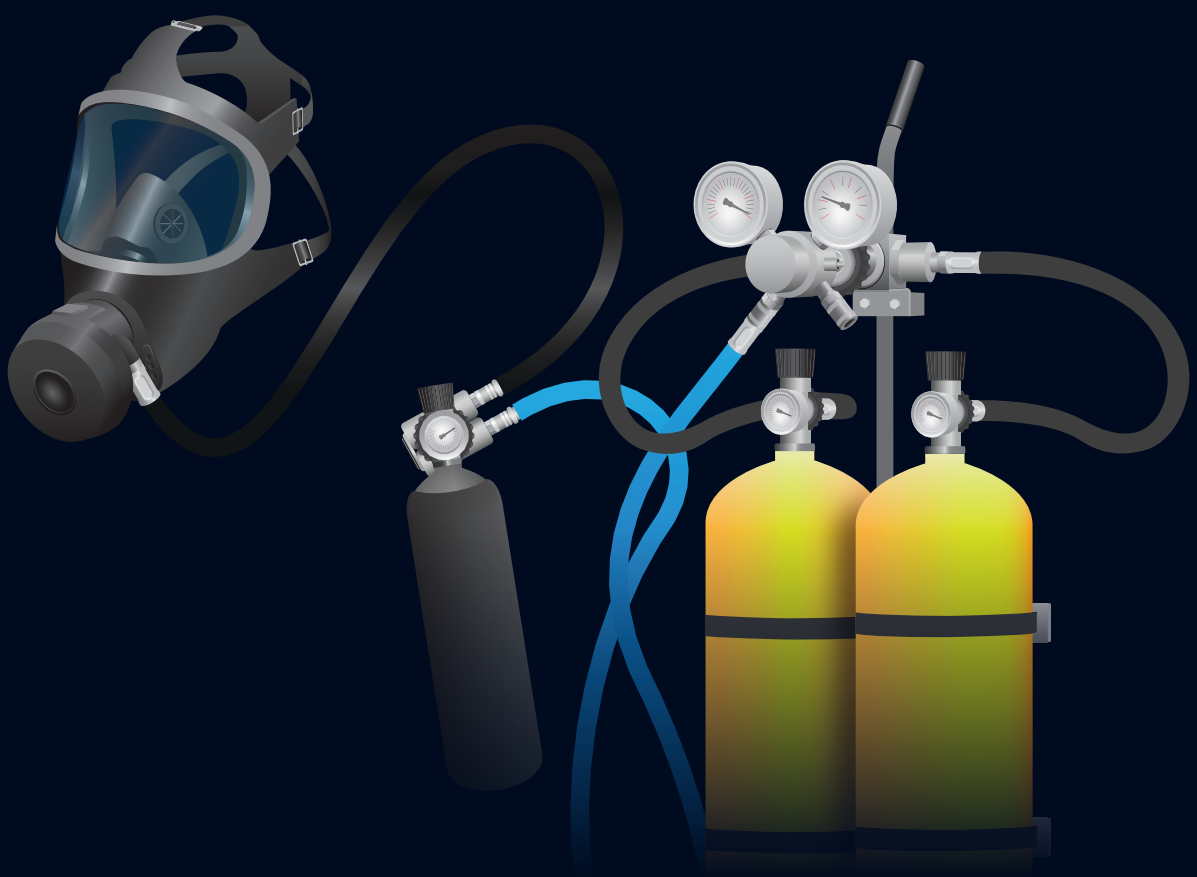


Ilustração de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

SISTEMA DE LINHA DE AR COMPRIMIDO

Caracterização

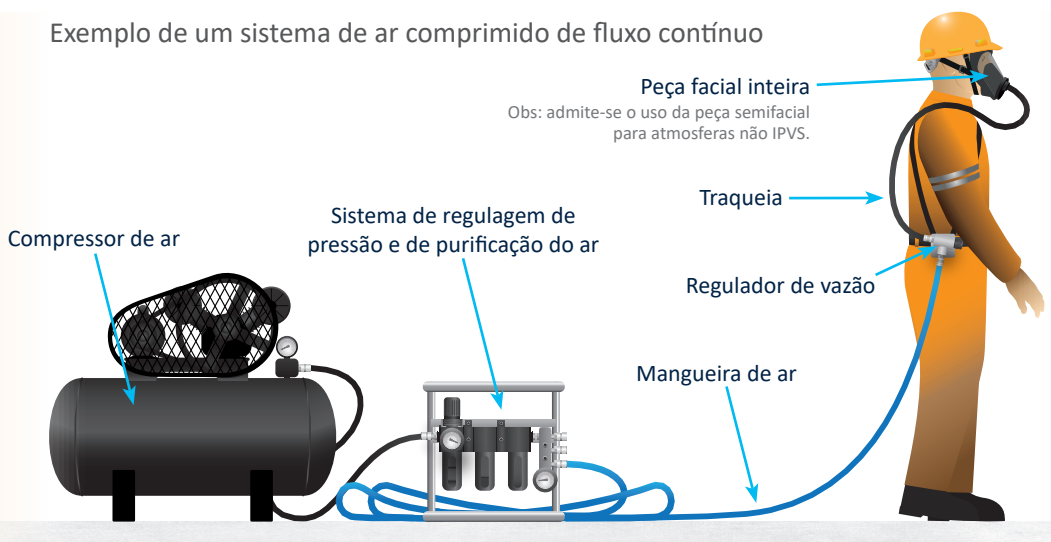
O que caracteriza o sistema de linha de ar, ou ar mandado como é popularmente conhecido, é o fornecimento contínuo e ininterrupto de ar respirável através de uma longa mangueira que conecta a fonte fornecedora de ar ao usuário.

Existem diferentes conjuntos de sistemas de linha de ar, variando a fonte fornecedora do ar respirável, os meios de purificação e de monitoramento da qualidade do ar, os tipos de máscaras, o tipo de fluxo de ar e a pressão mantida dentro das máscaras.

A seleção do sistema deve obedecer a critérios técnicos e varia em função do tipo de trabalho e dos riscos envolvidos. O sistema de linha de ar comprimido pode ser usado apenas para fornecer ar respirável ou pode alimentar sistemas que oferecem proteções adicionais como o uso de capuz, capacetes com viseira protetora e até mesmo roupas inteiras preenchidas pelo fluxo de ar.

A aplicação desses sistemas acontece, como exemplos, em ambientes da indústria farmacêutica, serviços de jateamento, de pintura, entre outros.

Exemplo de um sistema de ar comprimido de fluxo contínuo



O sistema mais comum

Um sistema muito utilizado no Brasil se compõe basicamente de uma fonte fornecedora de ar, como um compressor de baixa pressão, um painel ou um cavalete filtrante para a purificação do ar e regulagem da pressão, uma mangueira longa para conduzir o ar até um regulador de vazão instalado na cintura do usuário, e um segundo duto que conduz o ar do regulador até a máscara facial inteira.

Por uma questão de economia e conforto a opção mais comum costuma ser o sistema de fluxo contínuo de ar. Além de não exigir o esforço para respirar, dispensa a aquisição de uma válvula de demanda. Porém, esse sistema não é recomendado para todas as situações e muito menos para ambientes com uma atmosfera IPVS.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

SISTEMA DE LINHA DE AR COMPRIMIDO

Sistema para ambientes com atmosfera IPVS

No tópico anterior foi afirmado que o típico e comum sistema de linha de ar comprimido utilizado no Brasil não é aplicável a atmosferas IPVS. Mas, por quê?

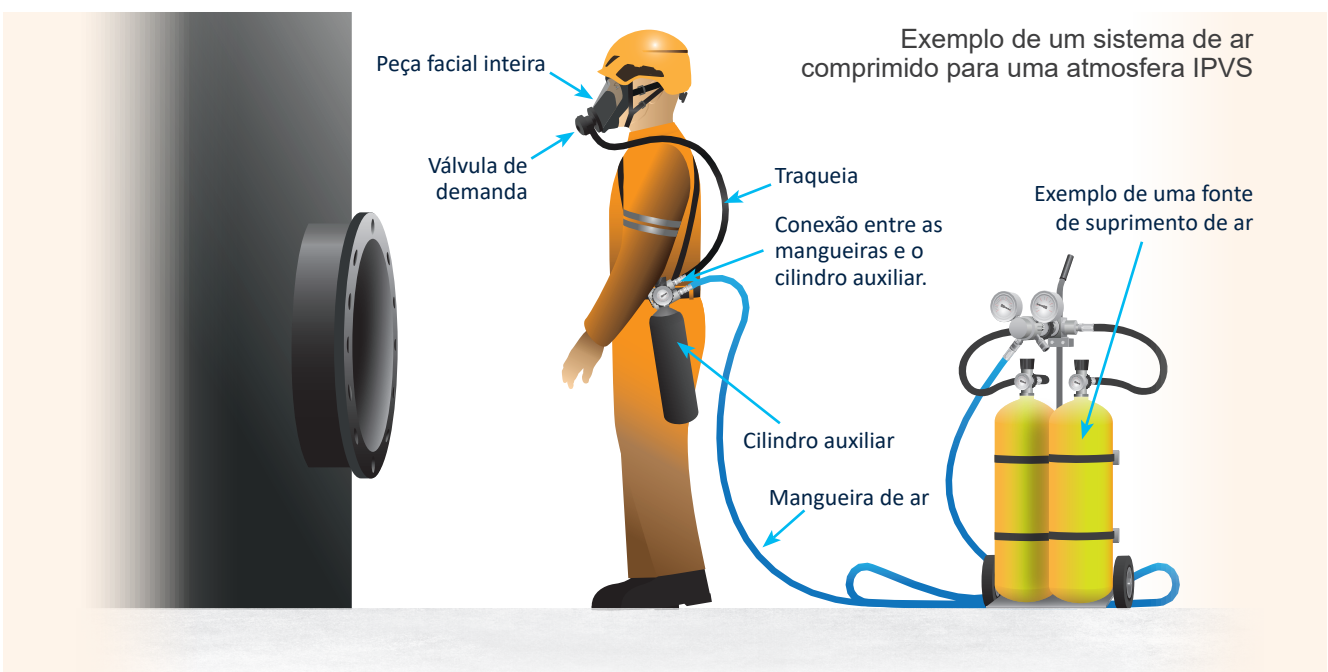
Se o ar que está no ambiente não pode ser respirado, é necessária uma fonte alternativa de ar, e não pode haver o risco de o ar tóxico alcançar as vias aéreas mesmo que acidentalmente. Para isso os recursos utilizados incluem uma cobertura das vias aéreas que ofereça uma boa vedação, sendo a peça facial inteira a opção mais segura quando a proteção necessária deve envolver a boca, o nariz e os olhos. Essa boa vedação proporciona um outro recurso importante que é a pressão positiva dentro da máscara, que garante que um eventual vazamento ocorra sempre de dentro para fora, impedindo que o ar perigoso penetre na máscara.

Como o trabalhador depende do fornecimento de ar de uma fonte externa, é imprescindível que haja uma redundância para o caso desse fornecimento ser interrompido. Um compressor pode parar de funcionar, cilindros de ar podem se esgotar, a mangueira pode ser esmagada, queimada ou cortada, enfim, o usuário necessita de uma segunda fonte de ar caso a principal venha a falhar. Por padrão, essa segunda fonte de ar é um pequeno cilindro, com pouco volume de ar, mas suficiente para permitir que o trabalhador escape do local de perigo.

Se a garantia da segurança do trabalhador depende da pressão positiva e do cilindro auxiliar de escape, outros itens do conjunto precisam ser diferentes, com destaque para a válvula de demanda, que se torna um componente essencial. Entre as justificativas para o uso da válvula de demanda, uma importante é o fato do cilindro auxiliar não dar conta de uma vazão contínua. Se a autonomia esperada para um cilindro de escape, com uma vazão sob demanda, é de 8 a 12 minutos, com uma vazão contínua de 120 litros por minuto ou mais a autonomia pode ser reduzida para 3 minutos ou menos.

Com o uso da válvula de demanda a válvula reguladora de vazão é substituída por uma conexão que liga a mangueira de ar, o cilindro auxiliar e a traqueia. Nesse sistema o controle da vazão de ar é realizado pela válvula de demanda.

A NR 33 (Espaços Confinados) e o Programa de Proteção Respiratória da Fundacentro, nos tópicos que abordam os respiradores para atmosferas IPVS, exigem o uso dos cilindros auxiliares de escape nos sistemas de linha de ar comprimido.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

SISTEMA DE LINHA DE AR COMPRIMIDO

Componentes básicos do sistema

A seguir será oferecida uma descrição mais detalhada das principais peças que compõem o sistema de linha de ar comprimido que recebe o CA, com foco nos ambientes com atmosfera IPVS.

Peça facial inteira

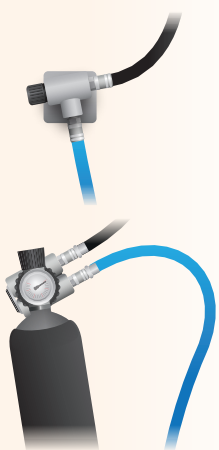
A peça facial inteira volta a ser importante no sistema de linha de ar comprimido quando a configuração obedece às necessidades do trabalho em um ambiente com atmosfera IPVS.

Quando for necessário oferecer ar respirável com um bom fator de proteção e cuja necessidade se limite a proteger boca, nariz e olhos, o uso da peça facial inteira torna-se obrigatório conforme o Programa de Proteção Respiratória da Fundacentro.

Válvula de demanda

O sistema de fluxo contínuo de ar é a solução mais empregada nas rotinas de trabalho em que a linha de ar comprimido é utilizada. Isso porque é confortável para o usuário o fato de ter o ar entrando na máscara continuamente, diferentemente da máscara com válvula de demanda, cujo fluxo de ar somente é liberado com o esforço da respiração. Porém, o consumo de ar é muito alto, com os limites entre 120 e 300 litros por minuto. Obviamente que um consumo como esse é viável apenas quando o suprimento de ar é abundante.

A combinação entre o ajuste da válvula de exalação e a válvula de demanda garante a pressão positiva dentro da máscara, que é fundamental numa atmosfera IPVS. O uso da válvula de demanda limita o consumo e permite uma variedade maior de fontes de fornecimento de ar, como o uso de conjuntos de cilindros, mesmo os portáteis, já que não há o desperdício. Permite também o uso do pequeno cilindro de fuga, sem o risco de esgotá-lo rapidamente.



Conexão

No caso dos sistemas de fluxo contínuo essa peça desempenha a função de regulador, permitindo ao usuário ajustar manualmente a vazão de ar. Além disso, essa conexão existe para permitir ao trabalhador que, diante de uma emergência, ele possa se desconectar da mangueira principal.

Nos sistemas para atmosferas IPVS não há a necessidade do controle de vazão na peça da cintura, já que a válvula de demanda faz essa função. Nessa configuração a conexão da cintura tem a função de unir o cilindro auxiliar ao resto do sistema, com modelos que o acionam automaticamente quando o fornecimento principal de ar é interrompido e outros cujo acionamento é manual.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

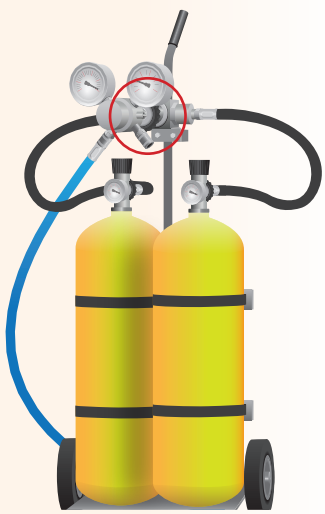
SISTEMA DE LINHA DE AR COMPRIMIDO

Componentes básicos do sistema

Imagem: IBR Brasil

Mangueira

A mangueira é uma parte importante do sistema e compõe o conjunto que recebe o CA. A norma técnica ABNT NBR 14372, que é uma das normas que aborda os requisitos para o respirador de linha de ar comprimido, estabelece características técnicas e metodologia de ensaio para a mangueira. Considerando que ela é usada para transportar ar respirável sob pressão, algumas necessidades devem ser atendidas. Além de ser robusta o suficiente para suportar a pressão, tem que apresentar flexibilidade e uma certa resistência ao estrangulamento, ao esmagamento e à tração. Ela deve ser fabricada com material atóxico e oferecer conexões de engate rápido. O seu comprimento máximo deve ser de 90 metros, seja em um lance único ou formada por vários segmentos conectados. O diâmetro interno e o comprimento determinam a pressão na qual o sistema deve trabalhar.



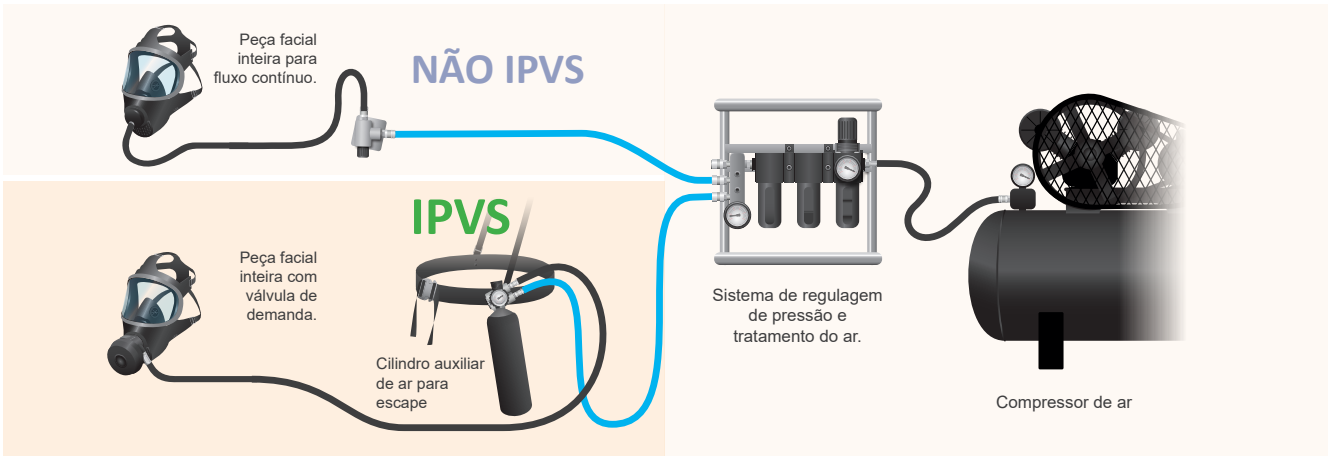
Alarme

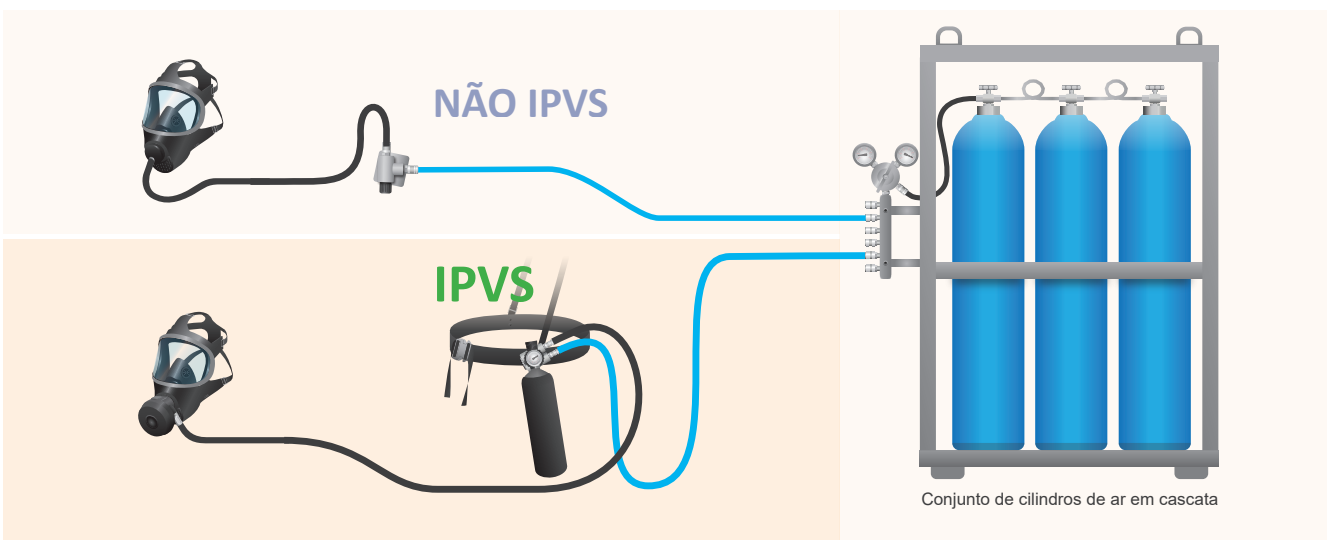
A norma técnica que aborda o respirador de linha de ar comprimido para uso com peça facial inteira, de número 14372 de 1999, exige o alarme apenas para o fornecimento de ar com cilindros de ar comprimido. Alguns fornecedores incluem como acessório um alarme de baixa pressão para o cilindro de escape.

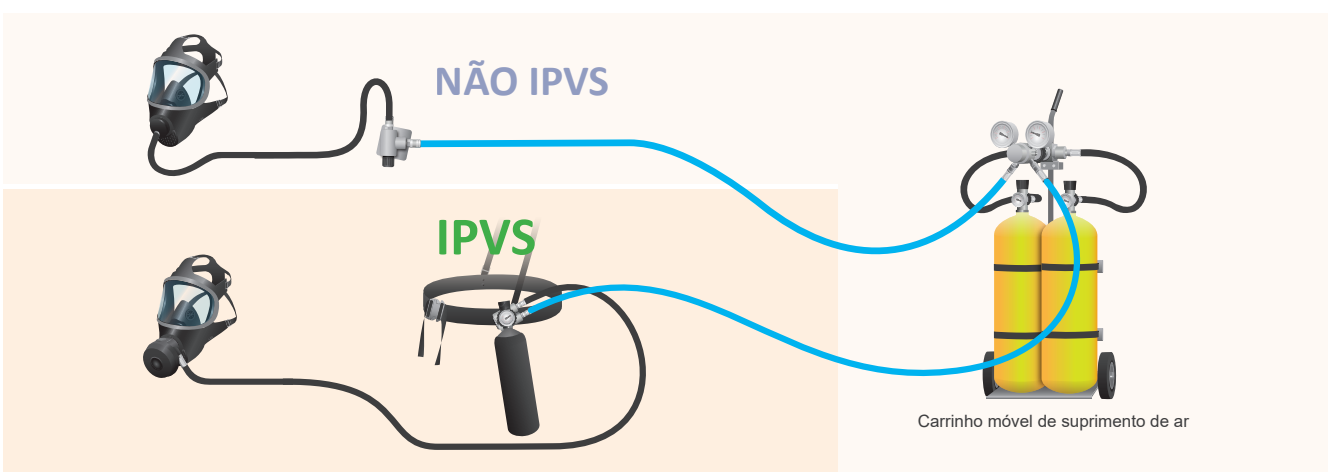
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

SISTEMA DE LINHA DE AR COMPRIMIDO

A representação abaixo é uma simplificação. Ela não apresenta todas as opções ou variações para a montagem dos sistemas.







Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

SISTEMA DE LINHA DE AR COMPRIMIDO

Operação de resgate com o uso de linha de ar comprimido

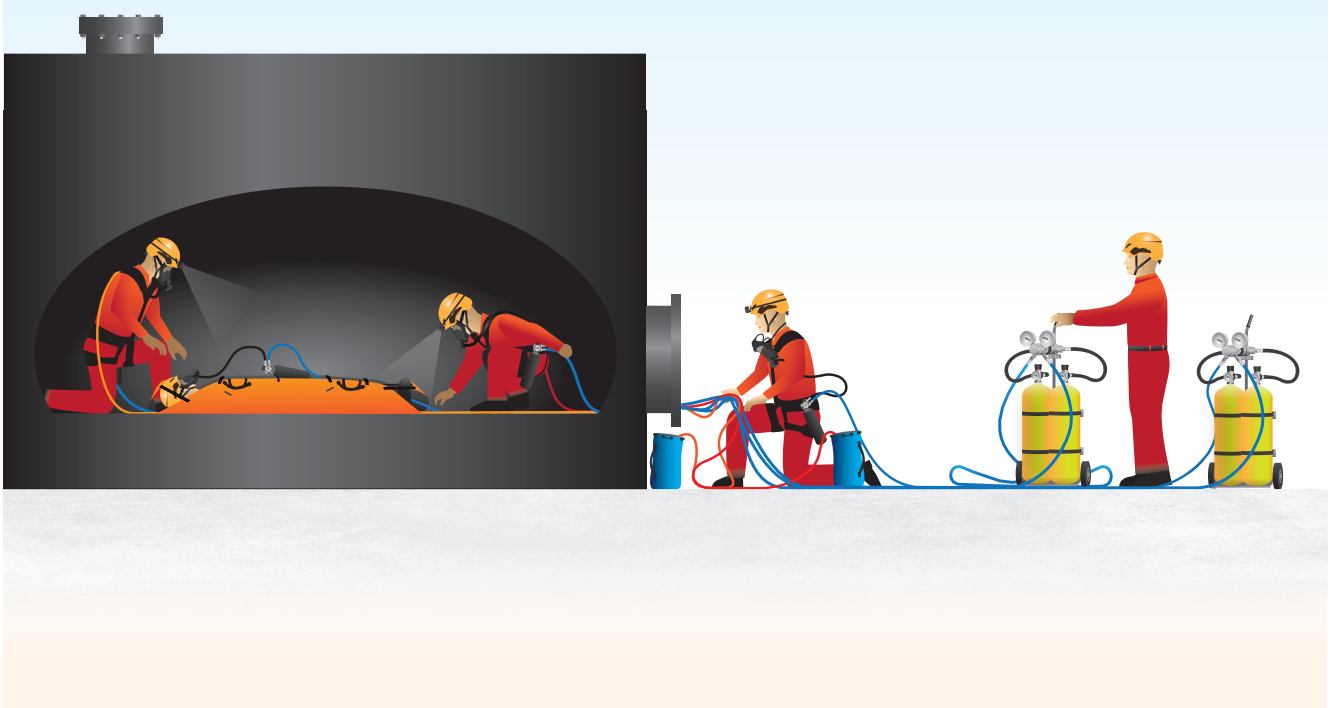
O equipamento autônomo costuma ser associado as operações de salvamento e resgate, o que é normal, já que o uso dele por bombeiros é algo rotineiro, porém, ele não é a melhor opção em todas as situações.

Em espaços confinados o cilindro de ar pode se tornar uma inconveniência por causa do seu tamanho. Em um local muito apertado pode ser impossível ao resgatista se movimentar com ele nas costas, exigindo desvesti-lo e arrastá-lo.

Outro inconveniente é o pouco tempo de ar oferecido pelo equipamento autônomo.

Considerando esses fatos, a opção que se apresenta como a melhor para uma operação de resgate em um espaço confinado é o sistema de linha de ar comprimido.

Embora haja o inconveniente de ter que arrastar e administrar uma longa mangueira, a linha de ar resolve os problemas citados acima.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

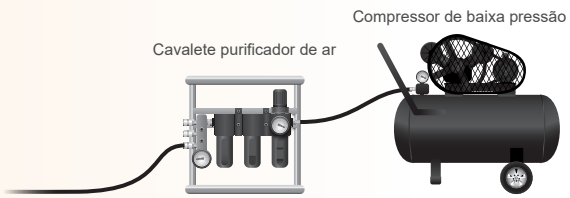
FORNECIMENTO DE AR

Sistemas geradores de ar comprimido

Em um sistema gerador de ar comprimido que forneça ar respirável, o compressor é apenas um dos componentes. Além do compressor, o sistema deve contar com um conjunto de componentes de tratamento do ar, e algumas vezes com um reservatório para o ar captado.

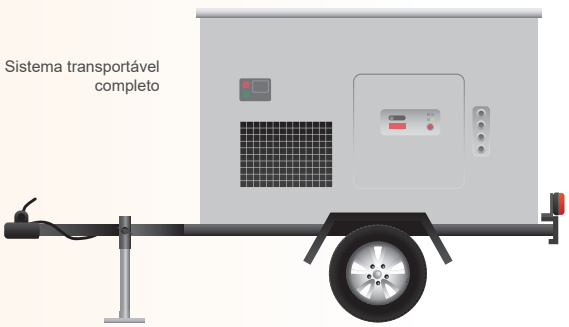
Esses sistemas podem ser portáteis, com volume e peso apropriados, além de meios que facilitem o transporte. Eles podem ser móveis, quando não forem tão compactos e leves, mas montados em estruturas que permitam que sejam movidos para o local de trabalho. Há os sistemas estacionários, projetados e montados de modo a fazerem parte da infraestrutura de uma planta industrial.

Soluções portáteis
São os modelos mais compactos e leves, com meios para facilitar o transporte. Entretanto, costumam ser os de menor capacidade.

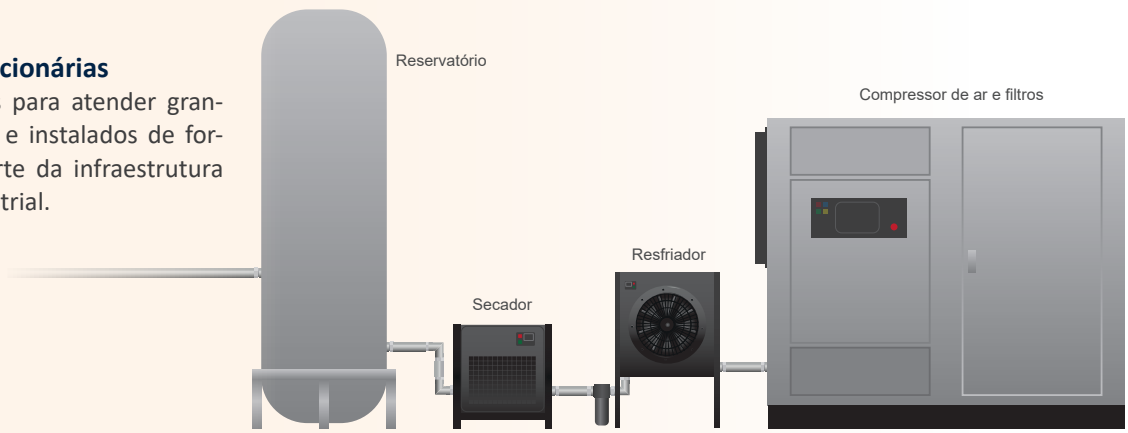


Soluções transportáveis
Esses exemplos consideram sistemas que podem ser instalados temporariamente nos locais de trabalho, mas com os devidos cuidados.

Soluções transportáveis
Existem sistemas projetados e fabricados para serem facilmente transportados para os locais de trabalho.



Soluções estacionárias
São projetados para atender grandes demandas e instalados de forma a fazer parte da infraestrutura da planta industrial.



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

FORNECIMENTO DE AR

Compressores de ar

O foco deste manual está nas soluções de proteção respiratória para ambientes com atmosferas IPVS, e neste caso os compressores de ar sempre estarão envolvidos, seja direta ou indiretamente. Um compressor de ar pode compor o sistema de ar comprimido de uma planta industrial, pode estar no local de trabalho ou próximo dele fornecendo continuamente ar para os trabalhadores, ou pode ser usado para carregar cilindros de ar comprimido que serão usados nas frentes de trabalho. Então, o compressor de ar é um componente essencial para a proteção respiratória em atmosferas IPVS.

Existem diferentes tecnologias de compressores no mundo, e entre essas tecnologias existem variações em função do tipo de uso. Listando apenas algumas delas podemos citar os compressores de diafragma, de parafusos, espirais, de pistão, entre outros. Determinar qual o melhor tipo e modelo depende da aplicação e das necessidades demandadas por essa aplicação.

O foco deste manual é o da proteção respiratória, ou seja, o que nos interessa são opções direcionadas para pessoas e não para máquinas. Porém, não podemos ignorar uma realidade brasileira em que, por motivos de custo, levam muitas empresas a utilizarem compressores projetados e fabricados para sistemas pneumáticos numa adaptação para sistemas de proteção respiratória. Isso é muito usual no Brasil e pode ser viável quando uma série de medidas complementares forem adotadas, mas não oferecem a garantia de alcançar uma solução plenamente segura.

O fato deste manual contemplar especificamente os trabalhos em atmosferas IPVS acaba por determinar opções limitadas de sistemas de proteção respiratória. Por exemplo, muitos dos ambientes com atmosferas IPVS ou potencialmente IPVS são distantes ou isolados, podendo não haver uma linha de ar fixa e permanente, ou até mesmo não haver um acesso a uma fonte de energia elétrica. Então, essas e outras circunstâncias acabam tornando algumas poucas tecnologias as mais utilizadas nas rotinas de trabalho no Brasil.

Considerando essa realidade, este manual irá se restringir a dois tipos básicos de compressores, que são os de pistão e os rotativos de parafusos.

Os compressores de ar limpo

Algumas tecnologias são aplicadas em ambientes e em processos que necessitam de um ar sem contaminações, como o uso medicinal em ambiente hospitalar, uso odontológico, em embalagens da indústria alimentícia e farmacêutica, na fabricação de alimentos e de bebidas, entre outros. São essas aplicações que incentivam a oferta de compressores geradores de ar limpo no mercado brasileiro.

O que caracteriza esses equipamentos é o funcionamento sem o uso de óleo para lubrificar as partes móveis (isento de óleo), pois dessa forma se elimina o risco desse óleo contaminar acidentalmente o fornecimento de ar.

Um eventual vazamento de óleo para o sistema de compressão de ar gera dois graves problemas, que são o próprio óleo se misturar ao ar, com potencial cancerígeno, e de parte dele ser queimado pelo calor do equipamento e gerar o monóxido de carbono, que é altamente tóxico para o ser humano.

Um outro recurso imprescindível que um sistema gerador de ar comprimido respirável deve oferecer é o tratamento adequado desse ar. O decantamento da água e do óleo condensados, a retenção de partículas finas e de certos gases feita por um conjunto de filtros garante o fornecimento de um ar limpo e saudável para ser respirado por pessoas. Alguns compressores têm esses recursos incorporados, outros modelos necessitam de equipamentos acessórios para o tratamento do ar.

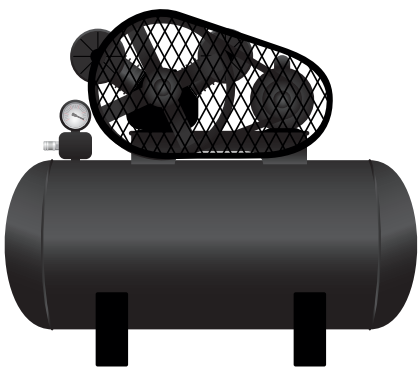
O que limita o emprego desses modelos específicos de ar respirável no Brasil é o custo alto de aquisição, alcançando valores dez, vinte ou mais vezes o preço de um compressor popular para sistemas pneumáticos. Mas veremos que há sempre um preço a se pagar quando se opta por soluções mais baratas.

FORNECIMENTO DE AR

Os compressores mais populares

Por causa de fatores como custo, desconhecimento técnico e uma boa dose de ingenuidade, no Brasil o tipo de compressor mais utilizado para proteção respiratória é o de pistão de baixa pressão, conhecido vulgarmente como “compressor de borracheiro”.

Os modelos conhecidos como “compressores de borracheiro” são uma adaptação improvisada e problemática.



Esse tipo de compressor de ar é relativamente barato, de construção simples e robusta, e por isso oferece geralmente uma longa vida útil e facilidade de manutenção. Por todas essas características é de longe o mais usado. Mas existem problemas nessa escolha.

Os compressores de pistão de baixa pressão não são projetados e fabricados para pessoas. Eles são produzidos e comercializados para alimentar sistemas pneumáticos, o que justifica o seu projeto mais simples e o seu custo mais baixo de aquisição.

Este tipo compressor de ar, chamado por muitos de “compressor de borracheiro”, tem como normal a contaminação do ar por óleo. A exposição constante ao óleo mineral pode causar aos usuários doenças por deficiência de vitaminas, pneumonia e até o câncer.

Quando o equipamento e os anéis do pistão ainda são novos a concentração de óleo no ar comprimido é baixa, porém, com o passar das horas de uso esses anéis começam a apresentar desgaste e a contaminação se agrava, podendo apresentar uma quantidade seis vezes maior de óleo misturado ao ar. Dependendo do estado de conservação do compressor, essa contaminação pode rapidamente saturar qualquer filtro que tenha sido instalado entre o compressor e o usuário.

O recurso de filtragem desses compressores é muito simples. O que eles oferecem é apenas um filtro na admissão de ar para a retenção de partículas e nada mais. Por isso é imprescindível a instalação de um painel com o sistema de regulagem de pressão e a purificação do ar entre o compressor e o usuário.

Deve ser considerado que dependendo das condições de trabalho o compressor pode ser submetido a um uso para o qual não foi projetado. Em sistemas de fluxo contínuo, sem a válvula de demanda, o consumo de ar é muito elevado fazendo com que o compressor tenha que trabalhar muito mais do que seria esperado, acelerando o desgaste do equipamento e os problemas que surgem com esse desgaste. O custo adicional com o consumo de energia elétrica, com a troca mais frequente de filtros e de manutenção também deve ser ponderado. Alguns especialistas afirmam que a economia feita na aquisição do compressor desaparece ao longo do tempo de uso, além de colocar a saúde dos usuários em risco.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

FORNECIMENTO DE AR

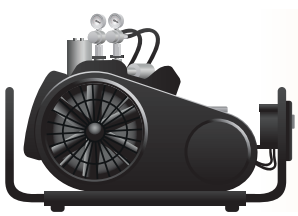
Como amenizar os problemas

O uso do compressor de baixa pressão para sistemas pneumáticos (compressor de borracheiro), deve ser desestimulado. No entanto, se um gestor opta conscientemente por esse tipo de equipamento, que considere as suas limitações e que adote um conjunto de medidas que amenizem os problemas e evitem expor os trabalhadores aos riscos previsíveis. As medidas mínimas a serem adotadas são:

- Adquira o equipamento de boa qualidade e de marca confiável;
- A manutenção preventiva de ser feita de forma primorosa;
- Não deve ser feita a substituição de peças fora das especificações técnicas do fabricante;
- Não são aceitáveis as improvisações na manutenção do equipamento.
- O equipamento deve ser substituído antes do limite da sua vida útil e preferencialmente antes que comece a demandar muita manutenção;
- Um sistema purificador de ar deve ser instalado entre o compressor e o usuário com os dispositivos adequados aos riscos previstos;
- Testes da qualidade do ar devem ser feitos com regularidade, e sempre que forem feitas manutenções no compressor e no sistema de purificação.

Compressores de pistão

Entre os compressores de pistão, existem os compressores de baixa pressão isentos de óleo e os compressores de alta pressão para o carregamento de cilindros de ar respirável.



Pode parecer que os problemas apontados são diretamente relacionados à tecnologia de pistão, e isso está longe da realidade. Existem no mercado compressores de pistão, de baixa pressão, isentos de óleo. Os modelos mais comuns e populares são ofertados no mercado para uso médico-odontológico. Além deles, existem os compressores de pistão de ar respirável de alta pressão, utilizados nos carregamentos de cilindros de ar comprimido para uso em atividades de mergulho e de proteção respiratória. Para alta pressão, os compressores de pistão são o único tipo disponível no mercado brasileiro.

Os compressores de baixa pressão isentos de óleo, popularmente de uso odontológico, considerando os modelos mais acessíveis, oferecem especificações abaixo do necessário, e podem não suportar um uso tão intensivo como o exigido para alguns sistemas de linha de ar comprimido. Entretanto, é possível encontrar no mercado modelos mais robustos e adequados.

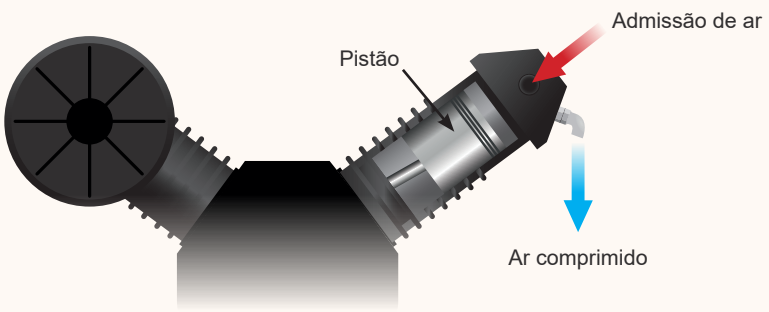
Sobre os compressores de alta pressão, como já foi mencionado, eles costumam ser diretamente relacionados ao carregamento de cilindros de ar respirável. No entanto, não há empecilhos para usá-los nas linhas de ar comprimido fornecendo um fluxo contínuo diretamente para os trabalhadores, desde que haja um dispositivo de regulagem de pressão. No entanto, é uma opção que gera alguma controvérsia, já que esse tipo de compressor oferece uma pressão muito maior do que a necessária, e isso leva inevitavelmente um desperdício de potência e energia. Os que argumentam a favor dessa opção, alegam a vantagem de ele poder atender ambas as aplicações.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

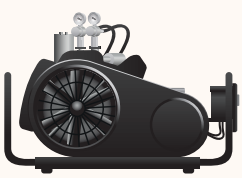
FORNECIMENTO DE AR

Compressores de pistão

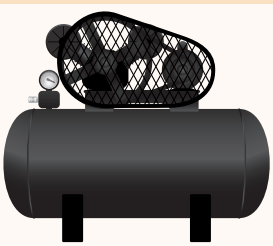
A representação abaixo é uma abordagem simplificada das variações dos compressores de pistão. Ela não contempla todos os modelos nem todas as variações existentes.



Alta pressão



Baixa pressão



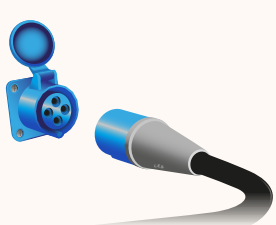
Isento de óleo

Lubrificado por óleo

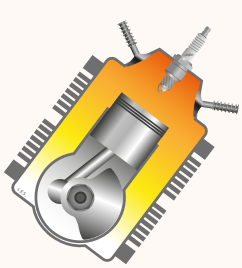
Motor elétrico

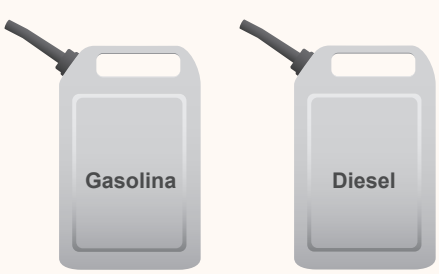
Monofásico

Trifásico



Motor de combustão





Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

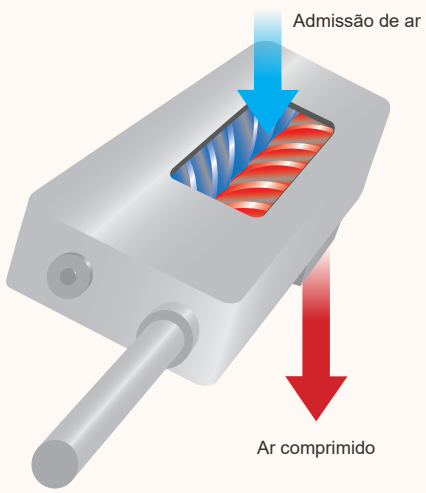
FORNECIMENTO DE AR

Compressores rotativos de parafuso

Para sistemas que trabalham com baixa e média pressão e onde se prevê um uso intensivo do compressor, a tecnologia rotativa de parafuso oferece vantagens.

Esse tipo de compressor comprime o ar utilizando dois parafusos paralelos com rosca sem-fim que se encaixam e rodam em sentidos opostos. Para sistemas de proteção respiratória existem os modelos isentos de óleo. A lubrificação utiliza água.

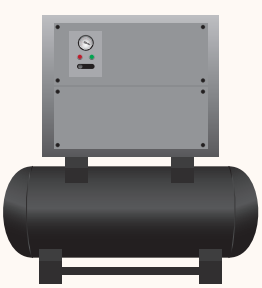
Eles oferecem uma relação energética melhor do que os de pistão, por isso são considerados mais eficientes em sistemas que exigem mais do compressor.



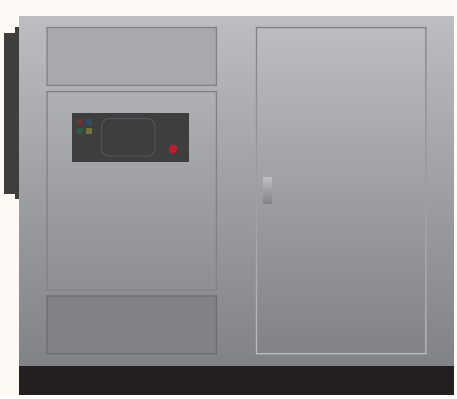
Isento de óleo

Lubrificado por óleo

Modelos transportáveis

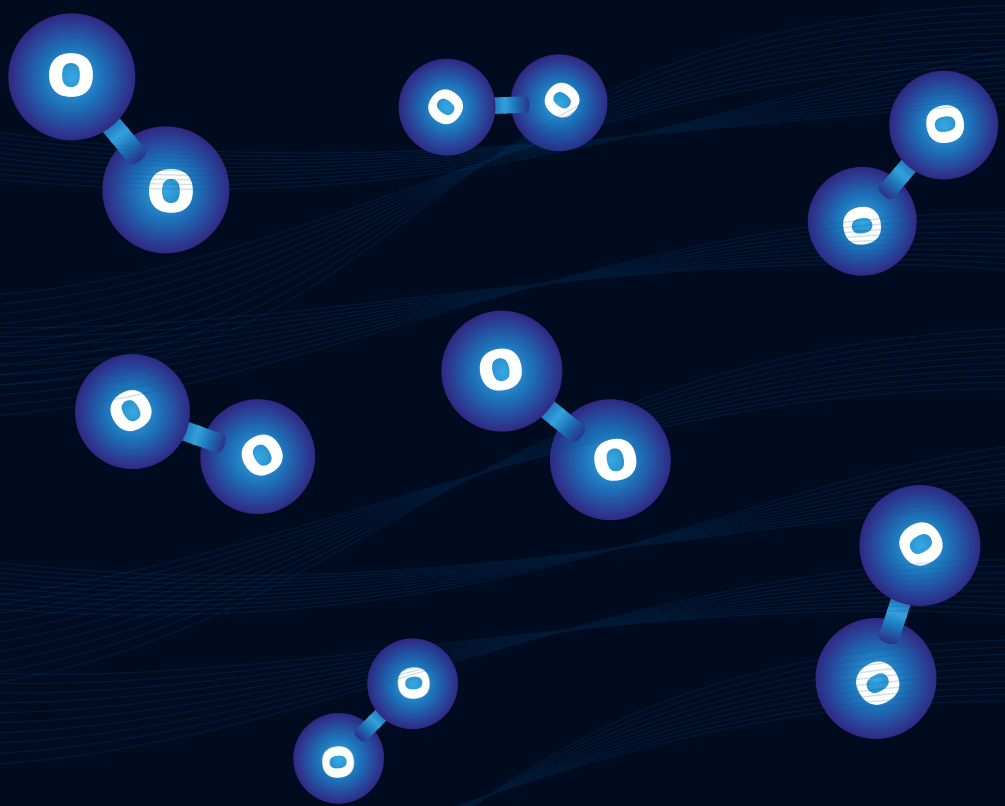


Modelos estacionários



Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Qualidade do ar



QUALIDADE DO AR

Padrão para a qualidade do ar

O ar é essencial para a vida e deve ser fornecido para o corpo humano de forma instantânea e ininterrupta. É importante relembrar também que as vias aéreas são estatisticamente a principal entrada de contaminantes no organismo. Portanto, um sistema de proteção respiratória não deve apenas fornecer ar, tem que proporcionar ar saudável.

O denominado ar respirável deve apresentar algumas características que são determinadas em normas. Em primeiro lugar, ele precisa ter uma composição semelhante ao ar atmosférico, ou seja, ter as proporções certas de oxigênio e nitrogênio. Em segundo lugar, deve apresentar um grau de pureza que é determinado pela ausência ou redução de contaminantes.

A referência utilizada para fins de análise e controle da qualidade do ar foi criada pela ANSI (*American National Standards Institute*), que é uma instituição americana que se assemelha à ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). O conjunto de requisitos para a qualidade do ar é denominado Ar Respirável Grau D. Esse padrão é apresentado no Programa de Proteção Respiratória da Fundacentro e nas normas técnicas ABNT NBR 12543 e 14372.

Basicamente, o ar respirável grau D estabelece limites para os seguintes itens:

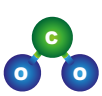
Oxigênio

Água

Ponto de orvalho

Óleo

Monóxido de carbono



Dióxido de carbono

Odor

A tabela apresentada no Programa de Proteção Respiratória da Fundacentro e nas normas técnicas determina o valor máximo e o valor mínimo de oxigênio para um ar de grau D. A variação é aplicável para o ar artificial que é produzido ao misturar os gases nitrogênio e oxigênio. Para o ar proveniente de um compressor, que captura o ar atmosférico, a concentração de oxigênio deve ser de 20,9 %.

Para um ar grau D também são determinadas as concentrações máximas de óleo, de monóxido de carbono e dióxido de carbono. Outros contaminantes não contemplados na tabela do ar grau D devem obedecer aos limites de tolerância determinados pelas normas brasileiras. Não existe uma forma de medir o odor, por isso o teste é feito com o olfato humano.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

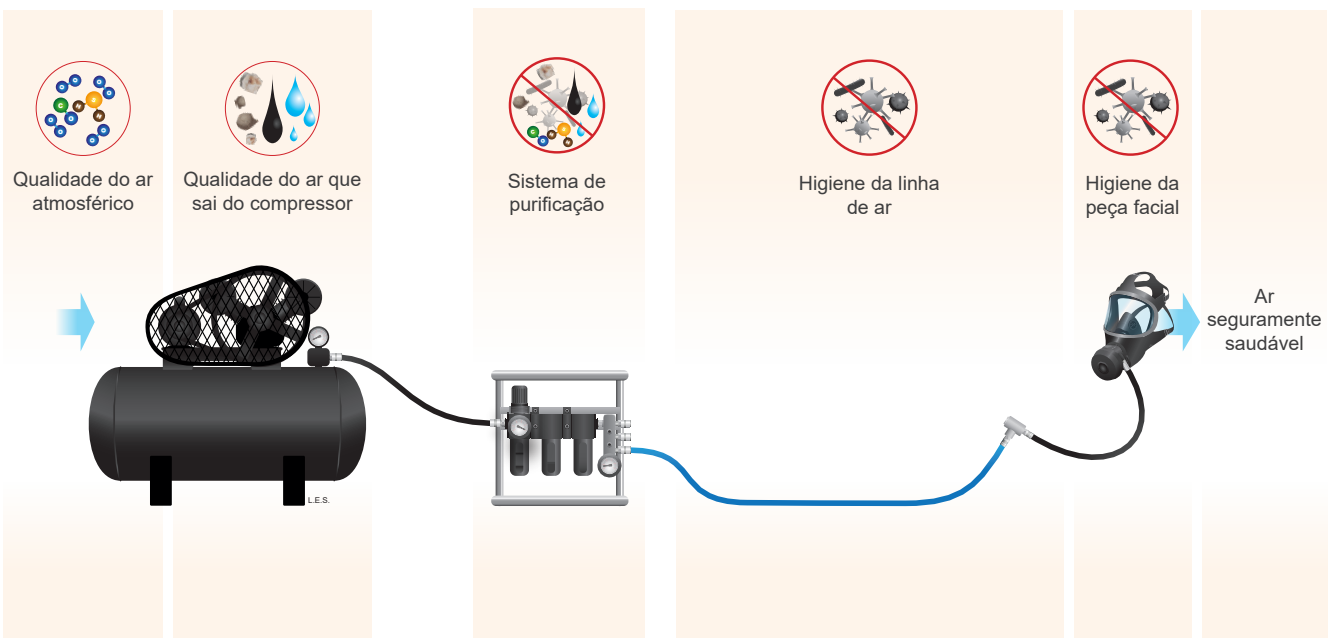
QUALIDADE DO AR

A garantia de um ar saudável

Um sistema de linha de ar comprimido para proteção respiratória não é algo que apenas capta ar na atmosfera e envia para uma máscara. Isso não seria o suficiente para garantir um ar saudável para o usuário. O próprio ar atmosférico pode conter contaminantes, como por exemplo, se captado ar dentro de um estacionamento de carros ou numa via pública com o tráfego intenso de veículos com motor a diesel e a gasolina. Devemos lembrar também que em ambientes industriais o potencial de ter uma atmosfera contaminada pode ser grande.

Os compressores de ar, com exceção dos modelos especializados, podem contaminar o ar com partículas, óleo e água em estado líquido. Quando certos cuidados não são tomados, a linha que conduz o ar da fonte até a máscara do usuário pode abrigar microrganismos como fungos e bactérias. Isso vale para uma máscara (peça facial) que não seja higienizada adequadamente ou que seja compartilhada por diferentes pessoas.

A proteção respiratória composta de um sistema de linha de ar comprimido precisa considerar esses riscos e contar com meios de evitá-los para garantir que o ar inalado pelo usuário seja seguramente saudável.



Não basta fornecer ar. O ar tem que ser garantidamente saudável para ser respirado.

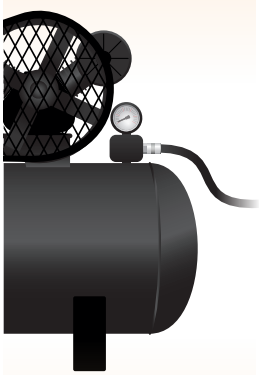
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

QUALIDADE DO AR

Componentes do sistema que garantem a qualidade do ar

O fornecimento de ar respirável através da linha de ar comprimido ou dos equipamentos autônomos sempre envolve um conjunto de componentes para garantir a qualidade do ar.

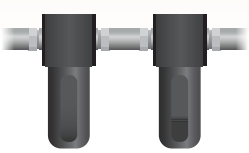
Em linhas de ar comprimido que fornecem um fluxo contínuo de ar, os componentes do sistema funcionarão de forma simultânea com esse fornecimento. Já nos sistemas que utilizam os cilindros de ar comprimido esses componentes foram utilizados no carregamento deles. De qualquer forma, sempre estarão envolvidos. São eles:



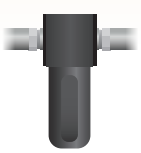
Regulador de pressão

Separador de condensados como óleo e água

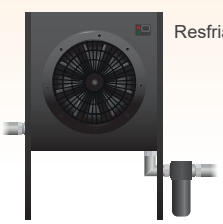
Conjunto básico de filtros para partículas finas, odores e vapores orgânicos



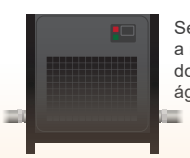
Filtros especiais utilizados em alguns sistemas, a exemplo dos esterelizantes para bactérias e vírus.



Equipamentos adicionais utilizados em alguns sistemas

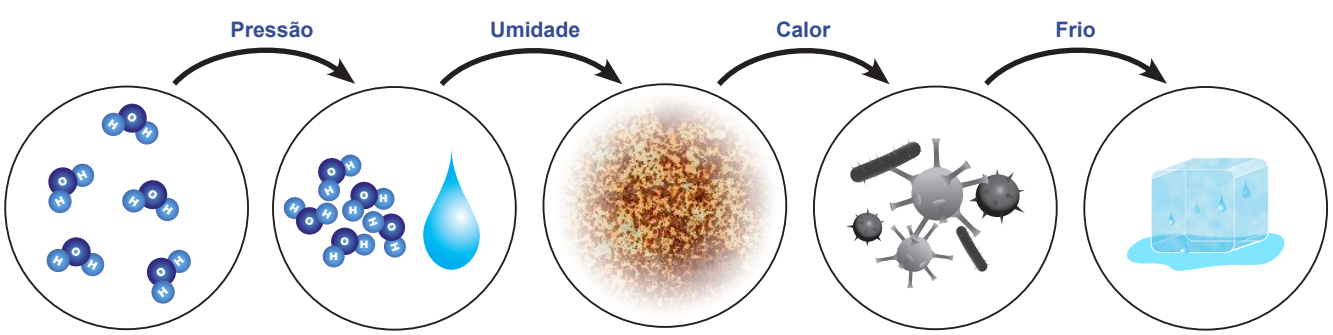


Resfriador



Secador para a retenção do vapor de água

Efeitos da água dentro do sistema



Água presente no ar em forma de vapor.

Água condensada em forma de gotículas.

Oxidação de partes metálicas.

Proliferação de microrganismos.

Água congelada dentro do sistema.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

QUALIDADE DO AR

Umidade e ponto de orvalho

Os itens do grau D que geram controvérsias no Brasil são a umidade e o ponto de orvalho. O ponto de orvalho designa a temperatura na qual a umidade presente no ar, na forma de vapor de água, passa do estado de gás para o estado líquido na forma de pequenas gotículas. Essa água líquida torna-se um problema dentro dos sistemas de ar comprimido por beneficiar a proliferação de microrganismos, de oxidar certos componentes e pelo risco de congelar em baixas temperaturas obstruindo a passagem do ar.

O que caracteriza os vapores é o fato de passarem do estado gasoso para o estado líquido sob o efeito da pressão e da temperatura. Por isso a quantidade de vapor de água existente no ar e a temperatura ao qual o equipamento pode ser exposto estão diretamente relacionados.

Quanto mais baixa for a temperatura prevista, menor deverá ser a quantidade de umidade do ar. A norma técnica ABNT NBR 14372 oferece uma tabela que relacionada os limites de temperatura e quantidade de água no ar. Veja alguns valores dessa tabela:

Ponto de orvalho	PPM	mg/l
-17,8° C	1.180	0,88
-26,1° C	538	0,40
-34,4° C	229	0,17
-45,6° C	60,5	0,045

Valores extraídos da tabela A.2 da NBR 14372:1999 - Pressão de 1 bar

Os parâmetros de umidade e ponto de orvalho existentes são contestados por alguns profissionais brasileiros pelo fato de atenderem às realidades de países do hemisfério norte, que apresentam climas temperados ou frios, muito diferentes do clima tropical brasileiro.

Em um país tropical como o Brasil, de clima quente e úmido, a justificativa para gerar um ar mais seco é inibir a proliferação de microrganismos como bactérias e fungos dentro dos sistemas de proteção respiratória, já que a relação de umidade e calor cria as condições ideais para esses organismos.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

QUALIDADE DO AR

Avaliação e monitoramento da qualidade do ar

Enfatizamos neste manual a importância de garantir a boa qualidade do ar nos sistemas de linha de ar comprimido para proteção respiratória.

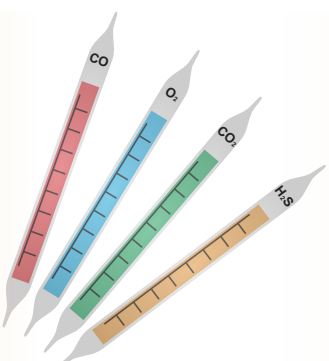
Existem compressores importados que atendem normas internacionais e que são avaliados e certificados para a geração de ar comprimido respirável, mas mesmo esses modelos especializados seguem a orientação de avaliar periodicamente a qualidade do ar que estão fornecendo. Os fabricantes aconselham que essa avaliação seja de no mínimo uma vez por ano, e sempre após o equipamento sofrer alguma manutenção.

Se os equipamentos mais sofisticados demandam esse tipo de cuidado, o que dizer das opções mais simples e menos especializadas?

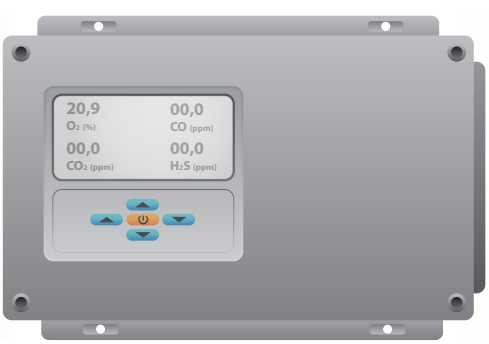
Todos os procedimentos de segurança que envolvem atmosferas exigem que se conheça os perigos existentes e potenciais nos ambientes de trabalho. Com esse conhecimento é possível determinar quais gases precisarão ser detectados e quantificados. Nas rotinas de trabalho existe um grupo básico de gases analisados, mas eles podem variar em diferentes ambientes e condições de trabalho.

A única maneira de garantir que um sistema de linha ar está de fato fornecendo um ar saudável é avaliando a qualidade desse ar. Essa avaliação pode ser feita com kits de reagentes chamados de tubos colorimétricos. Existem no mercado conjuntos com os quais é possível identificar e medir a concentração de oxigênio e outros gases.

Também existem os detectores de gases eletrônicos com versões portáteis e fixas. As versões portáteis são úteis para as avaliações periódicas. Os modelos fixos são utilizados para monitorar continuamente o ar fornecido por um sistema.



Uma das maneiras de detectar e quantificar gases é através dos reagentes químicos, conhecidos como tubos colorimétricos, que reagem à presença do gás analisado e com uma escala gráfica para determinar a quantidade. São descartáveis e servem para as avaliações periódicas.



Uma outra maneira de detectar e quantificar gases é através dos detectores eletrônicos. Eles são ofertados com um conjunto de sensores que podem variar conforme a necessidade. Existem os modelos portáteis usados para as avaliações eventuais e periódicas e os fixos, que podem integrar a linha de ar comprimido para monitorar continuamente a qualidade do ar fornecido pelo sistema.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

Cuidados, inspeção, manutenção, limpeza e higienização

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CAPACITAÇÃO DOS ENVOLVIDOS

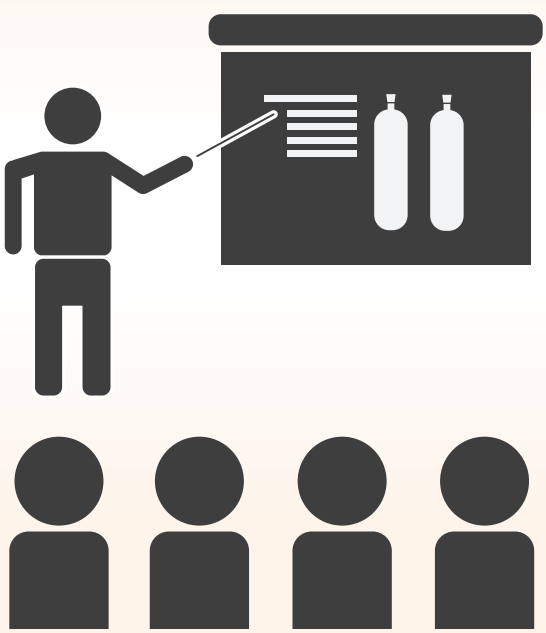
A falha de um equipamento de proteção respiratória durante o uso pode comprometer a saúde de um trabalhador, gerar acidentes graves e até mesmo fatais. Por isso, é fundamental selecionar o equipamento adequado e garantir o uso correto dele. Além disso, deve-se zelar pelos devidos cuidados no uso, nas inspeções cotidianas, nas inspeções programadas e na manutenção.

As manutenções preventivas e corretivas devem ser realizadas com responsabilidade e somente por pessoas capacitadas, seguindo sempre as recomendações dos fabricantes.

O conjunto de proteção respiratória, seja ele autônomo ou linha de ar, deve ser adequado aos riscos e às necessidades da atividade. A peça facial deve ser adequada ao rosto do usuário a fim de garantir a sua eficiência em isolá-lo da atmosfera perigosa.

Todos os envolvidos no programa de proteção respiratória devem ser capacitados para as suas funções. Isso inclui os profissionais responsáveis pela avaliação de riscos e seleção dos respiradores, os profissionais que vão utilizar esses respiradores, os profissionais que atuarão em um eventual resgate e os profissionais responsáveis pela manutenção, limpeza, higienização e guarda dos equipamentos.

O ponto chave para um programa de proteção respiratória eficiente é a capacitação dos envolvidos através do treinamento e do desenvolvimento constante.



CUIDADOS

A máscara certa para cada rosto

A peça facial deve ser selecionada considerando a anatomia de cada usuário.

As pessoas apresentam anatomias muito diferentes da cabeça e do rosto. O formato pode ser arredondado ou comprido, magro ou gordo, as bochechas ou o queixo podem ser mais ou menos protuberantes, assim como o tamanho ou o formato do nariz. Além dos formatos anatômicos naturais, existem as deformações acidentais como cicatrizes, ou temporárias com barba e bigode. Todas essas condições influenciam a forma como a máscara irá vestir o rosto do usuário, o que consequentemente irá determinar a eficiência da vedação e o grau de proteção que ela proporcionará ao trabalhador.

Como o foco deste manual é a proteção respiratória para atmosferas IPVS, a máscara destacada é a chamada peça facial inteira, e apesar de ser projetada e construída para oferecer uma boa vedação, a eficiência dela é garantida somente com a seleção do modelo e do tamanho certos para cada usuário. Devemos lembrar que essas máscaras são oferecidas no mercado com tamanhos diferentes, matérias-primas diferentes e formatos ligeiramente diferentes. Portanto, não basta adquirir um equipamento de primeira linha, proveniente de um bom fabricante, se a máscara não vestir adequadamente o rosto do usuário.

A maneira de determinar a máscara certa para cada indivíduo é através do teste de vedação, também conhecido no mercado como Fit-test. Esse ensaio é feito com o usuário do equipamento e consiste em dois tipos de teste, que é o qualitativo e o quantitativo.

O teste qualitativo é por natureza subjetivo, ou seja, depende da resposta voluntária ou involuntária do usuário.

Se ao vestir e ajustar o respirador corretamente o usuário não sentir a presença do contaminante através do gosto, cheiro ou irritação do trato respiratório (dependendo do método qualitativo aplicado) durante o ensaio de vedação, isso significa que uma vedação satisfatória foi alcançada.

O teste quantitativo é mais preciso e é realizado com o auxílio de dispositivos eletrônicos capazes de identificar, quantificar e registrar a eficiência da máscara. Para a peça facial inteira esse segundo teste é obrigatório.

Como existe muita plasticidade no uso da máscara, começando pelo corpo humano (músculos e pele) e da peça facial que é construída com materiais flexíveis e elásticos, o ensaio deve ser realizado com um padrão de movimentos para garantir que nas situações reais de trabalho a máscara não falhará em função da movimentação do corpo.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CUIDADOS

Teste de vedação quantitativo

Além do objetivo de selecionar o respirador adequado ao rosto do usuário, os testes de vedação avaliam o treinamento do trabalhador para uso da proteção respiratória e cumprem com uma determinação do Programa de Proteção Respiratória da Fundacentro, que estabelece como padrão o ensaio a cada doze meses, com exceções.

A exceção é aplicada para os casos em que o usuário apresente alterações significativas da sua anatomia, como o ganho ou perda de peso, acidentes que provoquem cicatrizes profundas no rosto onde acontece a vedação, alteração da arcada dentária ou variações decorrentes de cirurgias reconstrutivas, entre outras.

O teste realizado com equipamento eletrônico permite a precisão do resultado, bem como o registro desses resultados. O ensaio é feito com pressão negativa, mesmo nos casos em que o uso da máscara será em sistemas de pressão positiva. O objetivo desse ensaio é avaliar apenas a adaptação da peça facial ao rosto do usuário.

Avaliação da adaptação da máscara ao rosto do usuário.
Orientado pelo PPR da Fundacentro para ocorrer a cada 12 meses.

O ensaio de eficiência da máscara, da válvula de demanda e da válvula de exalação é realizado com uma outra metodologia e usando um equipamento diferente. Esse teste avalia a pressão positiva dentro da máscara.

O ensaio funcional da máscara e das válvulas de demanda e de exalação é feito em uma bancada de teste dinâmico e automático, cujo nome se popularizou como PosiChek.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

CUIDADOS BÁSICOS

Respeito ao equipamento	Os tipos de equipamentos abordados neste manual são robustos. No entanto, são suscetíveis a danos causados pela falta de cuidados, armazenamento inadequado ou mau uso.
Somente pessoal treinado	Os sistemas de proteção respiratória somente podem ser utilizados por trabalhadores devidamente treinados.
Garantir a vedação da máscara	Devem ser evitadas falhas na vedação da máscara por interferência de barba, cicatrizes profundas, o uso de óculos com hastes etc.
Equipamentos limpos e inspecionados	Os equipamentos somente podem ser utilizados se estiverem adequadamente limpos, higienizados e inspecionados.
Cilindros completamente carregados	Os cilindros de ar respirável devem ser colocados em uso completamente carregados.
Consumo de ar	Nos equipamentos autônomos o usuário deve monitorar constantemente a pressão do cilindro através do manômetro. Nos sistemas de linha de ar um trabalhador deve ficar encarregado de operar o conjunto de cilindros, monitorando os manômetros e providenciando a troca dos cilindros vazios por cilindros carregados. No uso do equipamento autônomo é aconselhável subtrair dos cálculos da autonomia (tempo previsto para o suprimento de ar) o valor de 50 bar de pressão para fins de reserva de segurança.
Teste hidrostático	O teste hidrostático deve estar dentro do prazo estipulado pelo fabricante.
Evitar choques e impactos	Devem ser evitadas quedas e não se pode jogar os equipamentos, pois impactos podem danificá-los. Após a ocorrência de choques acidentais o equipamento deve passar por uma cuidadosa inspeção e teste de funcionalidade. No caso dos cilindros pode ser necessário um novo teste hidrostático.

CUIDADOS BÁSICOS

As válvulas não devem ser forçadas	Não deve ser aplicada força excessiva e não devem ser usadas ferramentas para abrir ou fechar as válvulas.
A pressão correta	Os sistemas de linha de ar comprimido devem oferecer a pressão mínima para cada comprimento de mangueira, conforme orientação do fabricante, bem como assegurar a pressão necessária para o uso da válvula de demanda.
Cuidados com as mangueiras	Nos sistemas de linha de ar a mangueira deve ser protegida o máximo possível, evitando o contato com cantos vivos, superfícies muito abrasivas e fontes de calor. Nas áreas de trânsito de veículos a mangueira deve ser protegida com isolamento e sinalização, a fim de evitar o corte ou o esmagamento da mangueira.
Evitar a contaminação	Sempre que possível deve-se evitar o contato dos equipamentos com contaminantes químicos. Quando o contato é inevitável, o tipo de contaminante e o tempo de exposição a este contaminante devem ser avaliados. Em muitos casos uma simples limpeza não é suficiente, exigindo procedimentos específicos. Quando a descontaminação não for possível ou o tempo de exposição ao contaminante já ultrapassou o limite, deve ser feita a manutenção para a substituição das partes comprometidas ou o descarte de todo o conjunto.
Armazenamento adequado	O lugar e o modo como os equipamentos são armazenados é um dos tópicos de maior relevância quando são tratados os cuidados básicos. Um armazenamento mal feito pode expor os respiradores a danos causados pelo sol, pode expô-los à sujeira e à contaminação (mesmo após terem sido lavados e higienizados), podem ser deformados ou esmagados sob grandes pesos, podem ser fragilizados ou danificados quando expostos ao calor, e ainda fungos e bactérias podem proliferar nos equipamentos em ambientes muito úmidos. Portanto, o lugar e o modo como são armazenados devem preservá-los de qualquer tipo de dano e assegurar que após lavados, higienizados e inspecionados, permaneçam prontos para o uso.

INSPEÇÕES

Inspecionar o equipamento significa garantir que ele está em condições confiáveis de uso, e se não estiver, que ele seja retirado de uso e enviado para a devida manutenção. As inspeções realizadas pelo usuário são, normalmente, limitadas ao que pode ser avaliado visualmente. A checagem da funcionalidade do equipamento pode exigir uma bancada apropriada de testes, como veremos mais adiante.

As inspeções rotineiras devem ser feitas sempre antes do uso, às vezes sobre itens mínimos de verificação, e sempre após o uso, a limpeza e a higienização, quando uma inspeção mais cuidadosa e detalhada pode ser realizada.

Para os equipamentos que não são de uso cotidiano, como os usados em emergências, as inspeções precisam ser periódicas, no mínimo uma vez por mês, para garantir o estado de conservação e as condições confiáveis de uso. Os equipamentos autônomos, muitas vezes adquiridos apenas para serem usados em eventuais emergências, costumam ser frequentemente negligenciados. São adquiridos, instalados em locais estratégicos da planta industrial e abandonados, criando a incerteza de estarem em condições de uso quando a emergência acontecer. Os sistemas de linha de ar comprimido também podem sofrer essa mesma negligência quando destinados às emergências ou aos trabalhos esporádicos.

A seguir estão listados os itens básicos de inspeção dos equipamentos:

Máscara (peça facial inteira) e válvula de demanda

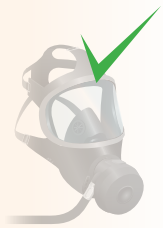
Considerando que a máscara está limpa e higienizada, a inspeção deve avaliar:

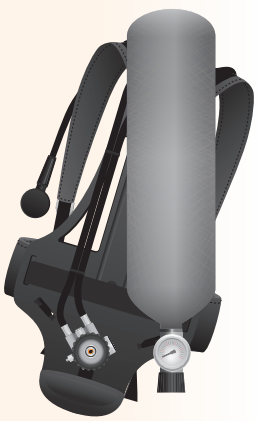
- Se existem resíduos dos produtos de limpeza e higienização;
- Se existem fissuras (rachaduras), rasgos e perfurações;
- A flexibilidade das bordas de vedação;
- O estado de conservação e a montagem dos tirantes e das fivelas de regulagem;
- Possíveis trincas no visor e a montagem dele no corpo da máscara;
- A existência e a posição do anel de vedação da válvula de demanda;
- O perfeito encaixe da válvula de demanda.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

INSPEÇÕES

Equipamento autônomo





Considerando que a máscara e a válvula de demanda já foram inspecionadas, os itens a seguir são:

- Eventuais danos visíveis na superfície do cilindro;
- A data de validade do teste hidrostático;
- A pressão do cilindro (completamente carregado);
- O funcionamento do manômetro;
- O estado do suporte anatômico;
- A existência e a posição do anel de vedação da válvula de demanda;
- As alças de transporte, o cinto e as fivelas;
- A conexão do cilindro ao redutor de pressão;
- O estado das mangueiras;
- As conexões das mangueiras;
- O alarme de baixa pressão.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

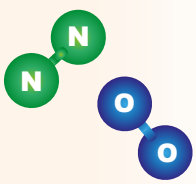
INSPEÇÕES

Sistema de linha de ar comprimido

Esse sistema é mais complexo, já que a fonte fornecedora de ar respirável pode variar. Além da fonte variar, alguns sistemas precisam incluir elementos para o controle da pressão, filtragem, retirada da umidade, entre outros. Cada um desses componentes tem a sua própria lista de cuidados e inspeção. Aqui abordaremos o básico, como segue:

Linha de ar

Considerando que a máscara e a válvula de demanda já foram inspecionadas, os itens a seguir são:



Qualidade do ar

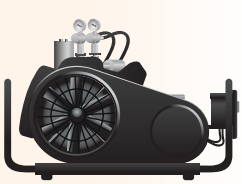
A qualidade do ar fornecido pelo sistema de proteção respiratória deve ser avaliada frequentemente. Se possível de forma contínua, ou ao menos periodicamente, seja com equipamento eletrônico ou com os kits de reagentes químicos (tubos colorimétricos). Essa é a única forma de garantir a eficiência do sistema.

Imagem da IBR Brasil

Mangueiras e traqueia

Examine o estado de conservação das mangueiras e da traqueia para averiguar fissuras (rachaduras), desgastes por abrasão, cortes, perfurações ou danos por calor.

Examine as conexões rápidas e as braçadeiras.



Compressor de ar

Averiguar se o compressor ou a entrada de ar do compressor estão em local que capte ar limpo, longe de contaminantes;

Examine a data de validade e o estado dos filtros do compressor;

Examine se o compressor está sendo operado segundo as orientações do fabricante;

Certifique-se que a manutenção programada está em dia, incluindo as inspeções mecânicas, a troca do lubrificante (quando houver), a troca de filtros e a calibração e ajuste dos recursos de segurança.

Certificar-se de que a inspeção do tanque de armazenamento de ar comprimido (quando houver) foi realizada cumprindo a recomendação do fabricante e da NR 13 (Vasos de Pressão).

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

INSPEÇÕES

Linha de ar

Considerando que a máscara e a válvula de demanda já foram inspecionadas, os itens a seguir são:

Conjunto de cilindros de ar (suprimento de ar)

Eventuais danos visíveis na superfície dos cilindros;

A data de validade do teste hidrostático dos cilindros;

A pressão dos cilindros (completamente carregados);

O funcionamento dos manômetros.

Cilindro de escape

Eventuais danos visíveis na superfície do cilindro;

A data de validade do teste hidrostático do cilindro;

A pressão do cilindro (completamente carregado);

O funcionamento da válvula e do manômetro.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

INSPEÇÕES

Teste de funcionalidade e segurança

A maioria dos itens de inspeção podem ser realizados visualmente pelo usuário ou por um profissional treinado e designado para isso. No entanto, algumas avaliações só podem ser feitas com uma metodologia que emprega dispositivos de teste.

A avaliação da funcionalidade da válvula redutora de pressão, da válvula de demanda, da válvula de exalação, entre outros itens, cuja eficiência garante a pressão correta dentro da máscara (pressão positiva), não pode ser feita com os sentidos humanos, por isso é necessário o emprego de recursos tecnológicos.

Abordaremos dois testes necessários para a boa manutenção do equipamento de proteção respiratória, que são os ensaios de funcionalidade do conjunto autônomo e linha de ar, e o teste de resistência dos cilindros de ar comprimido.

Bancada de teste automática

Teste funcional dinâmico

É recomendável que esse teste seja feito ao menos uma vez por ano.

Alguns fabricantes e empresas de manutenção autorizadas contam com uma bancada de teste automática para avaliar todos os itens de funcionalidade que não podem ser avaliados pelos sentidos humanos. Esse equipamento é conhecido popularmente no mercado como PosiChek, embora esse seja um nome comercial de um dos equipamentos disponíveis no mercado brasileiro.

Ele permite testar as funções e a eficiência do conjunto autônomo, e da máscara e suas válvulas.

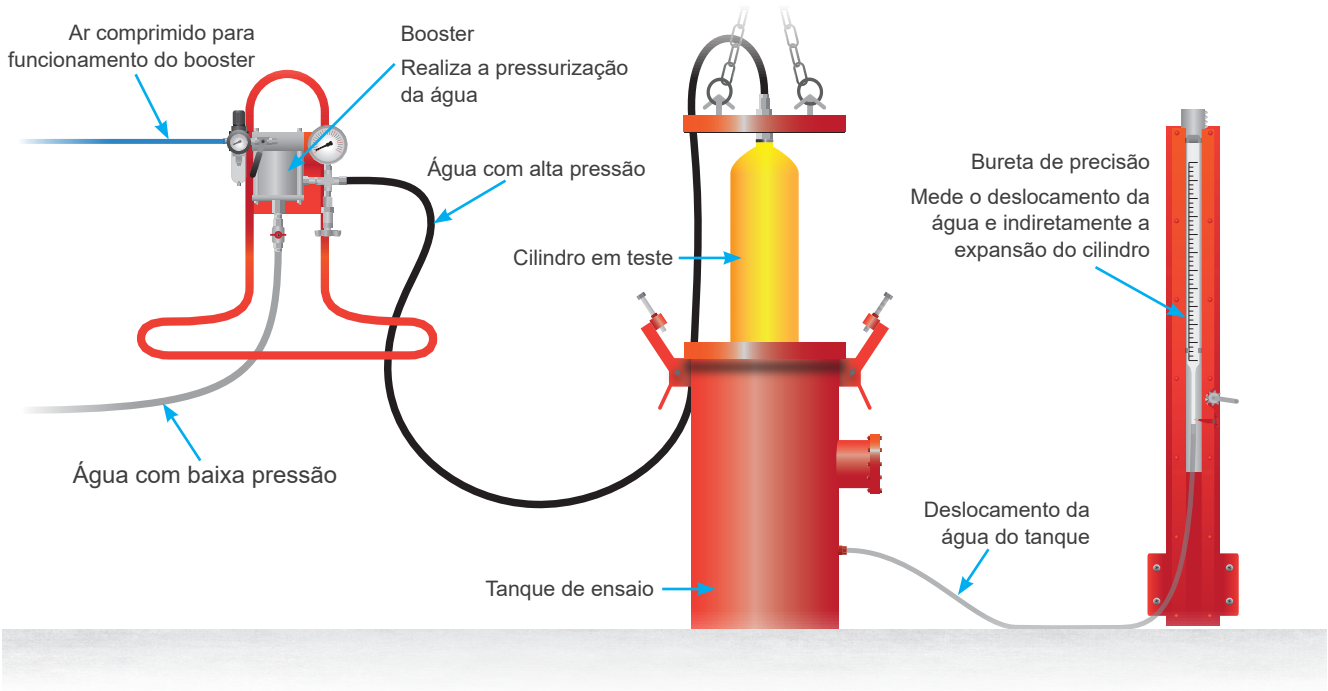
Além de avaliar a eficiência do conjunto, ele oferece como vantagens a precisão e o registro dos resultados.

Não existe uma exigência normativa no Brasil, por isso a frequência desse ensaio depende da orientação do fabricante. Mas as boas práticas ditam que esse teste seja feito ao menos uma vez por ano. Existem empresas que o realizam também sempre após o uso em ocorrências de emergência, por considerarem que nessas operações as chances de danos ao equipamento são altas e que, por isso, uma inspeção completa é necessária.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

INSPEÇÕES

Teste hidrostático de cilindros



Os cilindros de ar respirável são projetados e construídos para suportarem uma grande pressão. Um cilindro que trabalha com uma pressão de 300 bar suporta uma força equivalente 300 quilos por centímetro quadrado nas suas paredes. Como qualquer outro equipamento os cilindros estão sujeitos à fadiga, à deterioração com o tempo de uso e a danos acidentais, por isso é necessário periodicamente avaliá-los para detectar vazamentos ou a fragilidade da sua resistência.

A forma de avaliar a resistência dos cilindros é através do teste hidrostático. A palavra hidro tem origem no idioma grego e significa água, portanto, estamos tratando de um ensaio feito com água.

A periodicidade desse teste é estipulada pelo fabricante variando entre 3 e 5 anos. Nos modelos mais antigos de cilindros compósitos, cuja construção é basicamente alumínio e fibra de vidro, o teste hidrostático deve acontecer a cada 3 anos. Com os cilindros compósitos modernos, cuja construção inclui a fibra de carbono, a periodicidade do teste hidrostático se equiparou à dos cilindros de aço, devendo ser feito a cada 5 anos. Mas é importante salientar que é o fabricante que determina essa periodicidade.

O teste consiste em colocar o cilindro dentro de um tanque com água. Um sistema de água pressurizada é conectado ao cilindro e através dessa água é aplicada uma pressão uma vez e meia maior que a pressão de trabalho do cilindro. Então, para um cilindro de 200 bar é aplicada uma pressão de 300 bar e para um cilindro de 300 bar é aplicada uma pressão de 450 bar.

Com a aplicação da pressão o cilindro irá naturalmente se expandir, e ao se expandir ele desloca parte da água do tanque. A água deslocada pela expansão do cilindro se deslocará por um pequeno tubo até uma bureta de precisão. Graças a uma escala numérica é possível medir o que acontece dentro do tanque.

A pressão sobre o cilindro é reduzida e ele tende a voltar ao seu estado natural, porém, é esperado que não retorne totalmente ao volume anterior.

A avaliação do cilindro considera o percentual de expansão e a diferença entre o volume original e o volume após o teste. Existem valores limites utilizados para aprovar ou reprovar o cilindro. Acontece de cilindros comprometidos eventualmente colapsarem (romperem) durante o ensaio.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

LIMPEZA E HIGIENIZAÇÃO

Muitas vezes os equipamentos de proteção respiratória são usados em ambientes com contaminantes, e na maioria das vezes é impossível preservá-los dessa contaminação. Em muitos casos a limpeza externa desses equipamentos é suficiente para impedir danos e deixá-los prontos para o próximo uso. No entanto, dependendo da contaminação, podem ser necessários processos de limpeza específicos, ou em casos graves pode pode ser necessário o descarte do equipamento ou a substituição das peças mais vulneráveis ao tipo de contaminante.

Além da contaminação externa por produtos orgânicos ou químicos, também existe o risco da contaminação interna, como ocorre com as peças faciais e eventualmente com as mangueiras. Nesses casos a contaminação costuma ser biológica, cuja fonte pode ser do próprio usuário, ou se dar pela proliferação de microrganismos em função da temperatura e umidade, seja em uso ou pelo armazenamento em condições ruins.

A máscara, por estar tão próxima das vias aéreas, está sujeita ao contato direto com as secreções do corpo humano como a saliva, o suor e o muco nasal. Eventualmente, até mesmo sangue pode sujar uma máscara. Isso leva à necessidade da limpeza e da higienização sempre após o uso e, principalmente, quando o equipamento for compartilhado por diferentes pessoas.

No capítulo sobre as linhas de ar comprimido foi destacado que a qualidade do ar que chega as vias respiratórias do usuário depende, entre outras coisas, da higiene das mangueiras e da máscara. Portanto, a limpeza e a higienização de tais componentes são essenciais para a proteção respiratória.

As palavras limpeza e higienização aparecem sempre juntas neste texto, o que pode parecer uma redundância já que parecem ser sinônimas, mas não são. Compreenda a diferença.

Limpeza

A limpeza acontece através da lavagem, ou seja, por meios mecânicos como o uso da escovação e da passagem de água corrente para a remoção das partículas que compõem a sujeira.

A limitação da limpeza é não conseguir eliminar todos os microrganismos que podem estar no equipamento, por isso é necessária uma segunda etapa chamada de higienização.

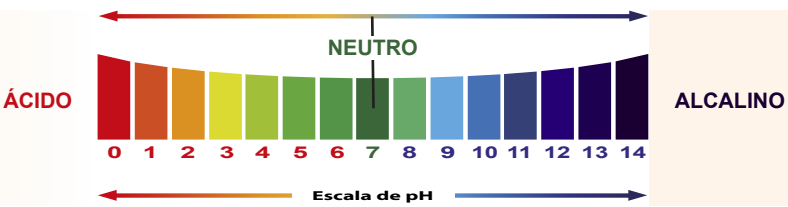
Higienização

A higienização é o processo de desinfecção do equipamento através de soluções químicas específicas, que visam destruir os microrganismos como bactérias, fungos e ácaros presentes nas superfícies dos equipamentos.

LIMPEZA E HIGIENIZAÇÃO

Uma informação recorrente nos manuais dos equipamentos e na literatura técnica é a recomendação do uso de sabão ou detergente neutro, mas o que isso quer dizer? Neste contexto a palavra neutro é usada para determinar o pH do produto.

A definição de pH foi apresentada no primeiro capítulo, que abordou alguns fundamentos de química. Relembrando parte do que foi abordado, o pH classifica uma substância entre ácida, neutra ou alcalina. A escala de valores do pH vai de 0 a 14, sendo que todo valor abaixo de 7 é ácido e todo valor acima de 7 é alcalino, e o valor 7 é neutro.



Ambas as extremidades dessa escala são muito agressivas aos tecidos humanos e para a maioria dos materiais que compõem os equipamentos. Portanto, para garantir que um sabão ou um detergente não irá prejudicar quimicamente o material é preciso certificar-se que ele apresenta um pH igual ou próximo a 7.

No uso e na limpeza dos equipamentos recomenda-se evitar o contato com produtos agressivos, sejam eles ácidos ou alcalinos. A lavagem deve ser feita com sabão neutro (valor 7 da escala de pH).

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

LIMPEZA E HIGIENIZAÇÃO

Limpeza e higienização da peça facial inteira

A máscara é a peça do conjunto de proteção respiratória que mais tem contato com as secreções humanas, portanto, é a mais suscetível à contaminação biológica, além da contaminação externa em virtude do ambiente onde foi usada.

Por causa disso, os manuais de produtos e a literatura técnica costumam focar na máscara quando orientam a limpeza e a higienização do respirador. Mas isso não significa que os demais componentes do respirador não devam ser limpos.

A seguir estão listados os procedimentos de limpeza e higienização da máscara.

Limpeza

- A válvula de demanda deve ser desconectada da máscara;
- A máscara deve ser inspecionada antes da limpeza a fim de identificar partes defeituosas ou danificadas que precisem ser substituídas;
- A limpeza deverá ser feita com água morna, cuja temperatura recomendada varia em função da fonte, com valores entre 43°C e 49°C;
- Poderá ser usado um sabão ou detergente neutro;
- Para uma maior eficiência da lavagem, poderá ser usada uma escova ou um pincel de cerdas macias;
- Após a limpeza a peça deverá ser bem enxaguada para a eliminação de todos os resíduos de sabão.

Higienização

- A peça deve ser imersa na solução desinfetante por no mínimo 2 minutos;
- A máscara deve ser bem enxaguada com água morna até eliminar todos os resíduos do agente desinfetante;
- O equipamento deve ser secado naturalmente em local limpo e arejado, ou com um pano limpo que não solte fiapos;
- Uma última inspeção do equipamento deve ser realizada e ele deve ser cuidadosamente armazenado.

Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

LIMPEZA E HIGIENIZAÇÃO

Limpeza externa do conjunto

Diferentemente da máscara, o restante do conjunto não deve ser limpo com imersão em água ou com jatos de água, principalmente se ele estiver parcialmente desmontado, pois haverá o risco de a água penetrar nas partes internas que não podem ter umidade (água líquida).

Para uma simples limpeza o recomendável é usar um pano úmido e que não solte fiapos. Um jato de ar comprimido de baixa pressão também pode ser utilizado desde que seja um ar limpo.

Para os casos mais severos de contaminação pode ser necessário o uso de produtos e métodos específicos, com o cuidado para não se usar meios que prejudiquem o equipamento. Por exemplo, produtos que têm como base solventes são muito agressivos para certos componentes do respirador. Em caso de dúvida, deve-se consultar o fabricante.

Não limpar com água corrente.
Usar um pano que não solte fiapos.

Limpeza e higienização das mangueiras

A higienização das mangueiras é comumente negligenciada, mas é dentro delas que podem proliferar os microrganismos em função da umidade (água condensada) e do calor.

Não existem exigências normativas e nem mesmo um padrão adotado no Brasil para esse tipo de procedimento.

Algumas empresas, por iniciativa própria, adotam a limpeza e a higienização das mangueiras. O processo consiste em limpar externamente, fazer percorrer pelo seu interior um produto detergente com um agente desinfetante, fazer percorrer água limpa para a eliminação do produto de limpeza e desinfecção, e depois a passagem de ar seco por um certo tempo para a secagem interna.

Há empresas que vão mais além, esterilizando todo o sistema, incluindo o cavalete de purificação de ar. Os filtros são retirados e uma solução desinfetante é injetada em todo o sistema.

Essa prática ainda é rara no Brasil e a falta de um padrão de procedimento não ajuda. Porém, o problema da contaminação interna das mangueiras é um risco real e não deve ser ignorado.

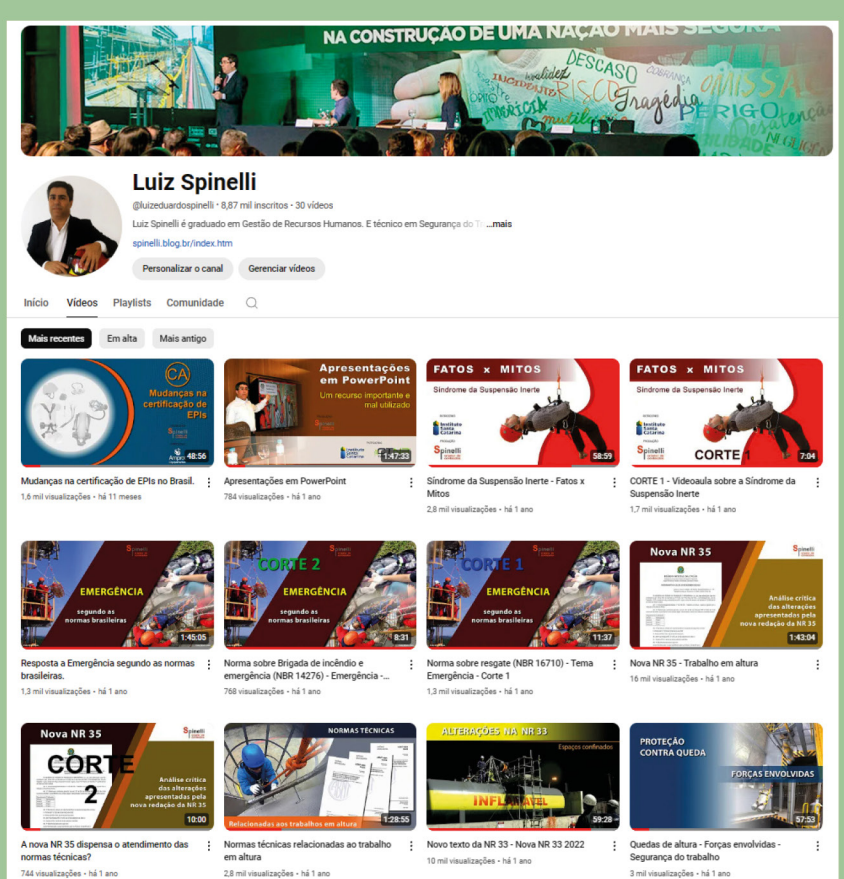
Ilustrações de Luiz E. Spinelli. Direitos reservados.

AVERTY
CONSULTORIA E TREINAMENTO

CONSULTORIA E TREINAMENTO

Paula Aloise é graduada em Engenharia Química pela FAAP, pós-graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho e Psicologia Social das Organizações. Atuou como coordenadora corporativa de segurança, saúde e meio ambiente em grandes empresas.

www.averty.com.br



Canal de Luiz Spinelli no YouTube

AGRADECIMENTOS

Uma obra como esta, considerando a sua importância e a sua complexidade, não poderia ser produzida sem a colaboração de várias pessoas.

Abaixo estão listados os nomes dos profissionais que contribuíram com informações técnicas, com o esclarecimento de dúvidas, com o fornecimento de materiais de pesquisa, com críticas e com sugestões.

André Mansano
Bacharel em Administração de Empresas e Técnico Químico Industrial
Sócio fundador da Amprot

Carlos Carvalho
Técnico em segurança do trabalho
Diretor da empresa Ranger Lccm

Diego Maso Sanches
Formado em Administração e Comunicação Social
Sócio Diretor da IBR Brasil

João Carlos Roman Theodoro
Técnico em segurança do trabalho e bacharel em Direito
CEO das empresas Vertical, Dr. Prevent e Vertical On

José Henrique Tonelli Quagliato
Engenheiro de Segurança do Trabalho
Diretor Técnico e Consultor da Suphortte

Luiz Claudio Ferreira da Costa
Técnico em Segurança do Trabalho, Administrador e pós-graduado em Sistema de Gestão Integrada
Diretor da LCF Costa

Paula Aloise
Graduada em Engenharia Química pela FAAP
Pós-graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho e Psicologia Social das Organizações
Diretora da Averty

Pedro Pereira
Gerente Regional de Vendas
Industrial Scientific

Reinaldo Morelli de Oliveira
Especialista em Instrumentação para Higiene Ocupacional e Proteção Respiratória
Diretor técnico da Faster

Rodrigo Yamada
Engenheiro de Segurança
Diretor da Indigo Safety

Sérgio Rivaldo
Diretor Técnico da Kaefy do Brasil.

REFERÊNCIAS

Esta obra é o resultado da união de três manuais produzidos e publicados entre os anos de 2020 e 2022. Muitas pesquisas e fontes bibliográficas foram consultadas. Aconteceram entrevistas com muitos profissionais de diferentes especialidades.

Para esta nova produção, com o intuito de atualizar e ampliar o conteúdo, novas pesquisas, referências e entrevistas aconteceram.

Foram usados como referências muitos artigos disponíveis na internet, entre os quais alguns acadêmicos, de divulgação científica e educacionais. Manuais de equipamentos, fichas técnicas de produtos e materiais didáticos também fizeram parte do trabalho de pesquisa e estudo.

Abaixo está relacionada apenas uma parte do conjunto. São as referências que podem ser consideradas de maior relevância.

NR 9 - PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS.

NR 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES.

NR 20 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO COM INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS.

NR 33 - SEGURANÇA E SAÚDE NOS TRABALHOS EM ESPAÇOS CONFINADOS.

GUIA TÉCNICO DA NR 33 – Fundacentro – 2013.

Manual para interpretação de informações sobre substâncias químicas – FUNDACENTRO – 2012.

Programa de Proteção Respiratória – FUNDACENTRO – 2016.

Manual de Proteção Respiratória - ABHO - Autores Maurício Torloni e Antonio Vladimir Vieira - edição de 2003.

Coletânea de normas técnicas sobre proteção respiratória da ABRASEG.

ABNT NBR 16577 – Espaço Confinado – Prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção – 2017.

ABNT NBR 13695:1996 - norma técnica sobre Peça Facial Inteira.

ABNT NBR 13716:1996 - norma técnica sobre Máscara Autônoma com Circuito Aberto.

ABNT NBR 14372:1999 - norma técnica sobre Respirador de Linha de Ar comprimido com peça Facial.

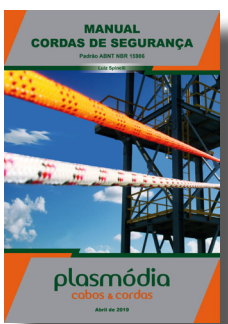
ABNT NBR 12543:2017 - norma técnica sobre Equipamentos de Proteção Respiratória - Classificação.

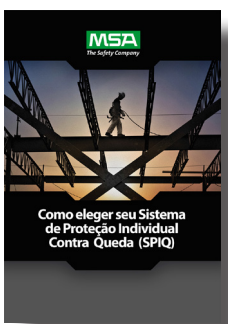
ABNT NBR ISO 16972:2015 - norma técnica sobre Equipamentos de Proteção Respiratória - Termos, definições, símbolos gráficos e unidades de medida.

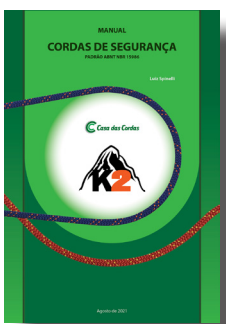
NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL - NHO 08: Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho - Procedimento técnico - FUNDACENTRO - 2009.

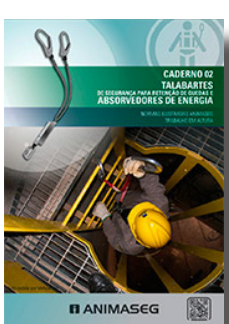
Publicações digitais de autoria de Luiz Spinelli

www.spinelli.blog.br









Patrocínio

Amprot Equipamentos

KEBOS

IBR

RANGER LCCM

VERTICAL®
SEGURANÇA DO TRABALHO

HOVERTEX
PROTEÇÃO PARA TRABALHOS EM ALTURA

Apoio

LCF COSTA

AVERTY
CONSULTORIA E TREINAMENTO