

**Índice**

1. Física e Química dos Gases	3
1.1 Introdução	3
1.2 Elementos Químicos e Moléculas	3
1.2.1 Generalidades	3
1.2.2 Quantidades Atômicas	3
1.3 Propriedades Físicas da Matéria	3
1.3.1 Estados de Agregação	3
1.3.2 Diagrama de Fases	4
1.3.3 Pressão de Vapor	4
1.3.4 Densidade de Vapor	5
2. Princípios de Detecção de Gases	5
2.1 Introdução	5
2.2 Sensores utilizados no Sistema CerGas	5
2.2.1 Sensores Semicondutores	5
2.2.2 Sensores Catalíticos (Pelístores)	6
2.2.3 Células Eletroquímicas	7
2.2.4 Sensor Fotoacústico	8
3. Proteção contra Explosões e Controle de Limites de Tolerância	9
3.1 Introdução	9
3.2 Proteção contra Explosões	9
3.2.1 Pré-condições	9
3.2.2 Limites de Explosividade	9
3.2.3 Flash Point	9
3.2.4 Ignição	10
3.2.5 Categorias de Temperatura	10
3.2.6 Grupos de Explosividade	11
3.2.7 Classificação de Áreas Perigosas	11
3.2.8 Classificação dos Detetores CerGas	11
3.3 Controle de Limites de Tolerância	12
3.3.1 Definição	12
3.3.2 Exemplos	12

Apêndice	13
Glossário	13
Propriedades de Substâncias Combustíveis mais Comuns	15
Propriedades de alguns Gases Tóxicos	16
Bibliografia	16



## 1. Física e Química dos Gases

### 1.1 Introdução

Toda forma comum de matéria consiste de pequenas partículas chamadas átomos. Sua estrutura interna determina as propriedades da substância.

Um átomo contém um núcleo atômico de carga positiva e uma camada externa de carga negativa chamada camada eletrônica. Todas as reações químicas ocorrem na camada eletrônica, deixando o núcleo atômico inalterado. Este núcleo consiste de prótons com carga positiva e partículas neutras denominadas nêutrons. O diâmetro do núcleo é da ordem de  $10^{-15}$ m enquanto que a camada eletrônica tem um tamanho de aproximadamente  $10^{-10}$ . Se imaginarmos um núcleo ampliado a 1mm, o correspondente diâmetro atômico seria de 100m!

### 1.2 Elementos Químicos e Moléculas

#### 1.2.1 Generalidades

Um elemento químico é um grupo de átomos que têm o mesmo **número atômico**, ou seja, o mesmo número de prótons e nêutrons. Os elementos são classificados em ordem crescente de seus números atômicos na Tabela Periódica de Elementos.

Exemplos são: Carbono (**C**) Hidrogênio (**H**), Nitrogênio (**N**), etc.

Os átomos de um elemento podem formar ligações químicas entre si ou com outros elementos. Essas ligações são formadas por um ou mais pares de elétrons que ambos os átomos têm em comum.

Exemplos :

$$\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{H}_2 \text{ (Gás Hidrogênio)}$$

$$\text{N} + 3\text{H} \rightarrow \text{NH}_3 \text{ (Amônia)}$$

$$\text{C} + 4\text{H} \rightarrow \text{CH}_4 \text{ (Metano)}$$

Estas partículas combinadas são chamadas **moléculas**. Na natureza, muitas substâncias ocorrem em forma de moléculas. Exceções são os gases nobres Hélio (**He**), Argônio (**Ar**), Criptônio (**Kr**), etc. ou elementos que formam estruturas (cristais) como os metais ou sais (ligações iônicas). Entre as moléculas, somente as forças de atração fracas são ativas (forças de Van der Waals). Por isso, elas formam compostos mais ou menos voláteis.

#### 1.2.2 Quantidades Atômicas

Todo átomo tem uma certa massa. Porque essa massa é extremamente pequena, uma unidade conveniente é definida: a **Unidade de Massa Atômica** (U.M.A.) definida como 1/12 da massa de um átomo de  $^{12}\text{C}$  que contém 6 prótons e 6 nêutrons.

Para se conseguirem quantidades definidas de substâncias, deve ser considerado um grande número de átomos. O número de moléculas em 12 g de  $^{12}\text{C}$  é:

$$N = 6,022 \times 10^{23} \text{ (Número de AVOGADRO)}$$

Esta quantidade de moléculas é definida como sendo **1 mol** desta substância.

Para os gases ideais, 1 mol ocupa (a  $0^\circ\text{C}$  e 1013 hPa) um volume de:

$$V_m = 22,4 \text{ l/mol}$$

*Este volume molar é independente do gás quando considerado ideal, isto é, as moléculas se movem livremente e sem exercer influência umas sobre as outras. Para a maioria dos gases que lidamos, isto permanece verdadeiro.*

### 1.3 Propriedades Físicas da Matéria

#### 1.3.1 Estados de Agregação

Todas as substâncias puras (compostas por átomos ou moléculas) podem se apresentar nos **3 estados de agregação**

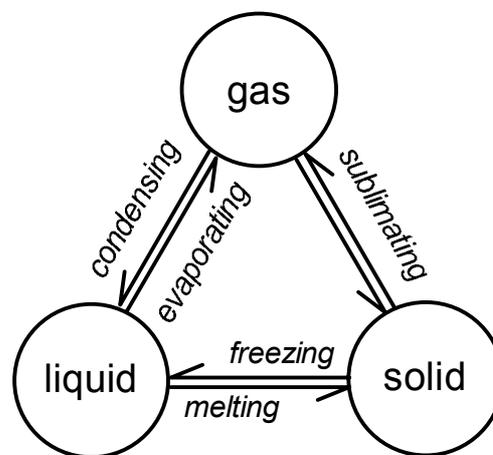


Fig. 1 : Estados de Agregação

O estado sob o qual uma substância se apresenta depende de forças entre as moléculas ou átomos e suas distâncias e estados de energia. Estas condições se caracterizam por pressão e temperatura. Os termos gás, líquido ou sólido são utilizados para substâncias que estão no estado correspondente como “**condições-padrão**” (normalmente a 20°C e 1013 hPa). No entanto, muitas substâncias podem coexistir em mais de uma fase nas mesmas condições, por exemplo, vapor sobre a superfície de um líquido. A razão para isto é que nem todas as moléculas têm a mesma energia cinética numa dada temperatura. Então haverá sempre alguma capaz de suplantar as forças de Van der Waals e escapar da fase líquida.

### 1.3.2 Diagrama de Fases

O diagrama de fases é uma representação gráfica das transições de fase de uma substância dependendo da temperatura e da pressão. Na figura abaixo se vê o diagrama de fases da água

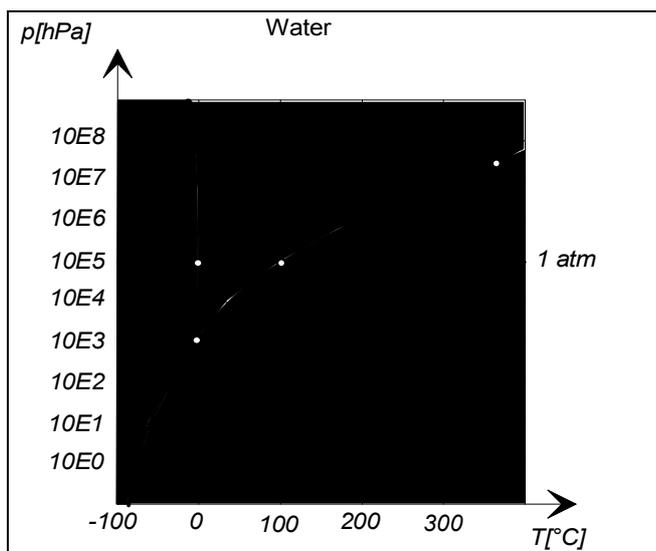


Fig. 2 : Diagrama de fases da água.

Sob a pressão padrão de 1 atm = 1013 hPa, a temperatura de transição entre sólido e líquido é chamada de **ponto de fusão (PF)**. Entre líquido e gás, esta temperatura é chamada de **ponto de ebulição (PE)**. Há um ponto no diagrama onde os três estados podem coexistir. Este ponto é chamado de ponto triplo da substância (T). Acima de uma certa temperatura, o gás não pode mais ser liquefeito aumentando a pressão. Este é o chamado Ponto Crítico (C).

### 1.3.3 Pressão de Vapor

Um líquido já começa a evaporar abaixo do seu ponto de ebulição. Com o aumento da temperatura, mais e mais moléculas mudam da fase líquida para a gasosa. Se o vaso está aberto para a atmosfera, o líquido acaba evaporando completamente. Se o vaso está fechado sem saída para a atmosfera, estabelece-se um equilíbrio entre as moléculas que evaporam e re-condensam. A pressão exercida pelas moléculas de vapor contra as paredes do vaso é constante a uma dada temperatura e é chamada de **pressão de saturação de vapor**.

Quando a pressão de saturação de vapor alcança a pressão do ar ambiente (normalmente 1 atm), o líquido entra em ebulição (Fig 3).

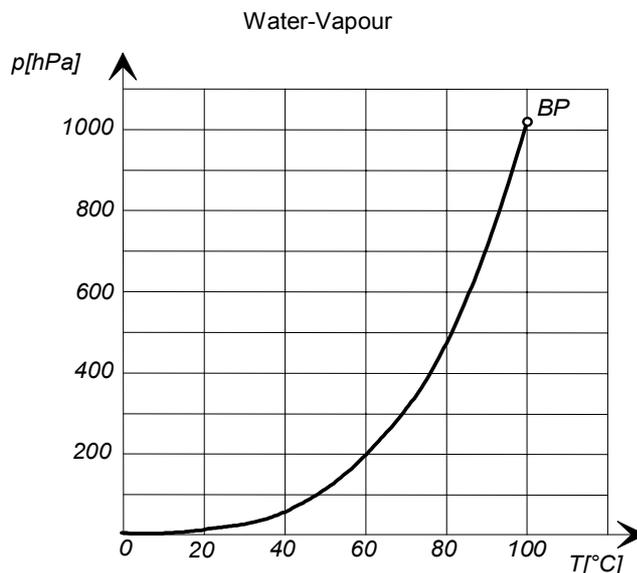


Fig. 3 : Vapor de Saturação da Água

### 1.3.4 Densidade de Vapor

Um importante critério para determinar a posição de um sensor em detecção de gás é conhecer a densidade relativa do gás ou do vapor em relação ao ar ambiente. Para gases mais leves do que o ar, os detetores têm que ser instalados

no teto; para os mais pesados que o ar, próximo ao solo. A densidade relativa pode ser calculada como segue:

O ar seco consiste de uma mistura de Nitrogênio ( $N_2$ ), Oxigênio ( $O_2$ ), Argônio ( $Ar$ ) e traços desprezíveis de outras substâncias.

$N_2$	78%	28g/mol
$O_2$	21%	32g/mol
$Ar$	1%	35g/mol

O peso molecular médio é então calculado como:

$$MW_{air} = \frac{78 \cdot 28 + 21 \cdot 32 + 1 \cdot 35}{100} = 28.9 \text{ g / mole}$$

Normalmente, 1 a 2% de vapor d'água está presente no ar ambiente mas seu efeito no peso médio do ar é muito pequeno.

A densidade  $\rho_{rel}$  de uma substância com peso molecular MW em relação ao ar é definida como sendo:

$$\rho_{rel} = \frac{MW}{MW_{air}}$$

Exemplo de um vapor mais leve que o ar:

Toluol ( $C_7H_8$ ) com um peso molecular de:

$$MW = 7 \cdot 12 + 8 \cdot 1 = 92 \text{ g / mole}$$

Sendo  $92 > 28,9$  o vapor é mais pesado que o ar.

E assim, a densidade relativa do vapor é:

$$\rho_{rel} = \frac{92}{28.9} = 3.18$$

**Em resumo: quando a densidade relativa do vapor ou gás é <1 o mesmo é mais leve que o ar. Sendo >1 é mais pesado que o ar.**

## 2. Princípios de Detecção de Gases

### 2.1 Introdução

A detecção e as medições de substâncias voláteis como os gases, vapores e partículas têm ganho cada vez mais importância ultimamente. Na indústria química grandes quantidades de gases e líquidos inflamáveis devem ser processadas de maneira segura. Grandes variedades

sempre crescentes de moléculas identificadas como tóxicas ou carcinogênicas devem ser monitoradas e controladas.

Utiliza-se hoje uma grande variedade de sensores de gases com diferentes princípios de funcionamento, cada qual com vantagens específicas para aplicações específicas. Portanto, é muito importante conhecer as exatas necessidades do usuário e todas as suas condições ambientais mais relevantes a fim de otimizar para ele o equipamento mais adequado.

### 2.2 Sensores utilizados no sistema CerGas

#### 2.2.1 Sensores Semicondutores

Estes sensores de estado sólido são compostos basicamente de dióxido de estanho sinterizado ( $SnO_2$ ) o qual é aquecido a aproximadamente  $400^\circ C$ . Se um gás tóxico ou inflamável está presente, ele é oxidado na superfície do elemento sensível. Este processo libera elétrons que aumentam a condutividade do semicondutor. A reação dos gases depende da temperatura e da atividade do sensor. Portanto, as sensibilidades para certos gases podem ser otimizadas.

#### Características

- 👍 Vida longa e confiabilidade
- 👍 Alta sensibilidade
- 👍 Resposta rápida
- 👍 Alta resistência a venenos
- 👍 Baixo custo
- 👎 Baixa seletividade
- 👎 Resposta não-linear
- 👎 Alta sensibilidade à temperatura e umidade

#### Aplicações

- Detecção de vazamentos de solventes (Álcool, Hexano, Tolueno, etc.)
- Detecção de vazamentos de amônia
- Detecção de refrigerantes (R22, R134a, etc.) e hidrocarbonetos halogenados.

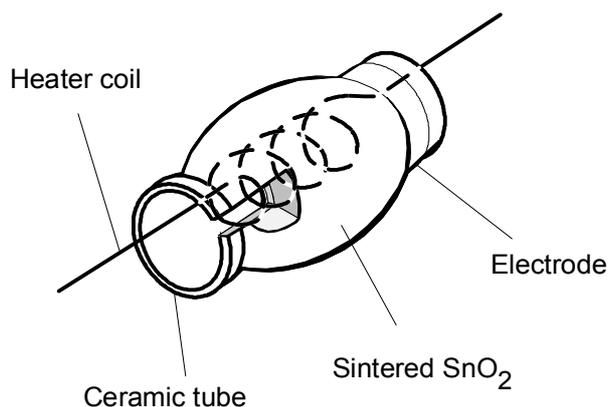


Fig. 4 : Estrutura do elemento semiconductor

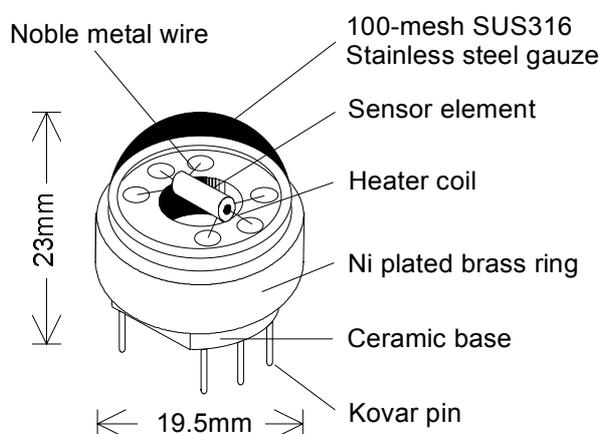


Fig. 5 : Configuração Global do Detector Semicondutor

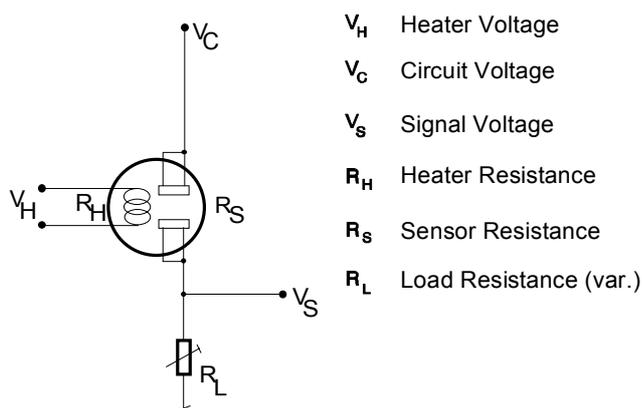


Fig. 6 : Circuito Básico de Medição

### 2.2.2 Sensores Catalíticos (Pelístores)

Um pelistor é um calorímetro em miniatura utilizado para medir o calor de oxidação de gases combustíveis (inflamáveis). Ele consiste de uma espécie de mola de

platina que atua simultaneamente como aquecedor e detector de temperatura, envolvida num leito de cerâmica porosa, impregnada com um catalisador, onde a oxidação do gás acontece. A medida é feita com um par de elementos: o elemento detector ativo possui o catalisador e o elemento compensador inativo é tratado para que não oxide o gás. Estes elementos são conectados ao circuito de uma Ponte de Wheatstone que então registra a concentração do gás através do desbalanceamento dos dois elementos causado pelas reações diferentes. O leito cerâmico é aquecido até uma temperatura de 500 °C através da tensão principal.

### Características

- 👉 Vida longa e confiabilidade
- 👉 Baixo custo
- 👉 Adequado para proteção contra explosões
- 👉 Carcaça à prova de explosões
- 👉 Resistência melhorada contra venenos (GS P60-01)
- 👉 Resistência melhorada contra envenenamento por chumbo (GS P60-02)
- 👉 Suscetível de envenenamento de catalisador por compostos de silicone, cloro, enxofre ou chumbo.
- 👉 Não há seletividade entre os gases inflamáveis.
- 👉 Suscetível a choques mecânicos durante manuseamento ou transporte.

### Aplicações

- Detecção de gases e vapores inflamáveis (proteção contra explosões).

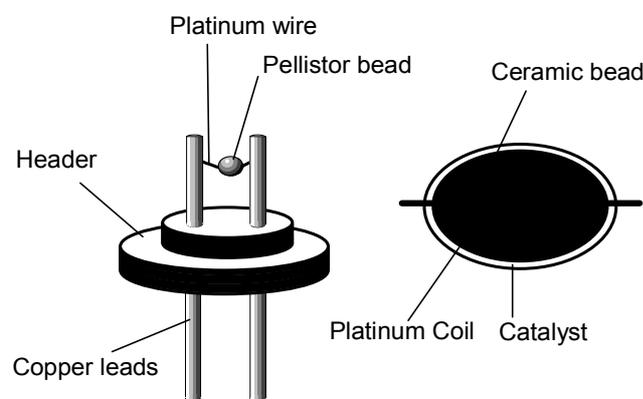


Fig. 7 : Sensor Pelistor

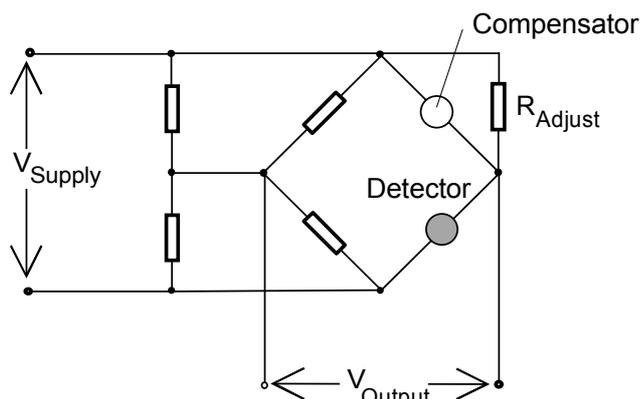


Fig. 8 : Diagrama do Circuito

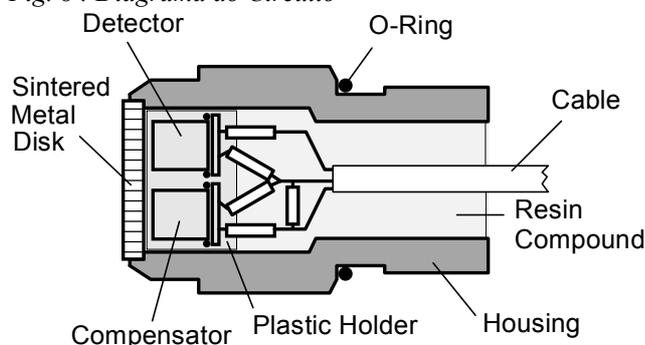


Fig. 9 : Montagem do CerGas

### 2.2.3 Células Eletroquímicas

A forma mais simples de uma célula eletroquímica é uma bateria metal-ar limitada em tensão compreendendo um ânodo, o eletrólito e um cátodo de ar (Fig 10).

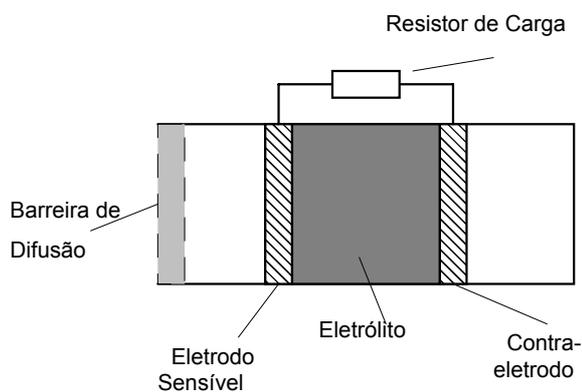


Fig. 10 : Diagrama esquemático de um sensor eletroquímico

Se um gás oxidável eletroquimicamente (gás redutor) tal como o Monóxido de Carbono (CO) está presente no ar ambiente, ele se difundirá até o eletrodo sensível e causará um desvio de seu potencial. A resultante diferença de potencial entre o eletrodo sensível e o contra-eletródo então provocará o aparecimento de uma corrente que fluirá no circuito externo.

Para um sensor de CO a reação química na célula pode ser descrita como segue:

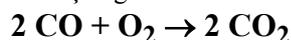
No eletrodo sensível:



No contra-eletródo:



A reação global será:



O oxigênio do ar ambiente deve estar presente no contra-eletródo para sustentar a reação. O princípio acima pode ser aplicado para medir qualquer composto gasoso que possa reagir eletroquimicamente no eletrodo. Exemplos de sensores disponíveis são:  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NH}_3$  e muitos outros. Para compensar a polarização do contra-eletródo, a maioria dos sensores está equipada com três eletrodos.. Todos esses sensores mostram reações estáveis e lineares, mas têm uma vida muito curta. Isso gira em torno de 6 a 18 meses, conforme o sensor. As faixas de medição estão na ordem de 1 a 100 ppm, dependendo do gás.

### Características

- 👍 Sinal estável e linear
- 👍 Detecção na faixa dos ppm
- 👍 Pouca influência por umidade, temperatura e choques.
- 👎 Vida curta (~12 meses). Conforme a dose do gás, essa vida pode ser reduzida.
- 👎 Custo elevado
- 👎 Sofre grande interferência por gases estranhos presentes

### Aplicações

- Detecção de vários gases tóxicos na faixa de ppm
- Controle de níveis de LT<sup>1</sup> em higiene do trabalho.

<sup>1</sup>LT: Limite de Tolerância do gás/vapor

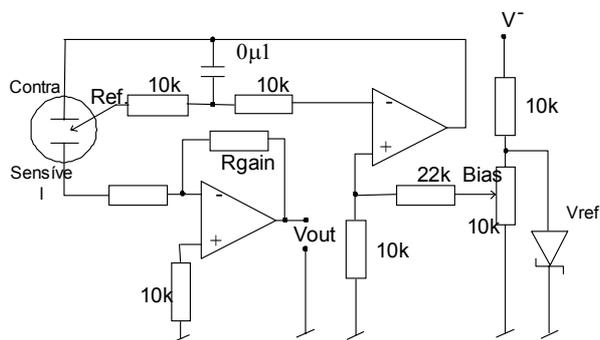


Fig. 11 : Circuito de funcionamento de um sensor eletroquímico de 3 eletrodos.

#### 2.2.4 Sensor Fotoacústico

Um novo sensor foi recentemente desenvolvido, utilizando a propriedade que várias moléculas gasosas têm de absorverem radiação infravermelha em especificados comprimentos de onda. As principais partes desse sensor são: uma fonte de luz infravermelha pulsante, um filtro óptico deixando passar somente um comprimento de onda específico e uma câmara de medição fechada na qual o gás penetra por difusão (veja a Fig 9). Dentro desta célula, um microfone sensível é montado detectando as tênues flutuações de pressão induzidas pela energia de radiação absorvida. Este novo sensor pode ser utilizado para detectar  $\text{CO}_2$  e um outro para **hidrocarbonetos** (onde seja importante uma não-interferência pelo hidrogênio). A vantagem desta técnica fotoacústica em relação à detecção da absorção Infravermelha é a sua alta estabilidade do zero.

Veja esquema na figura 12 adiante

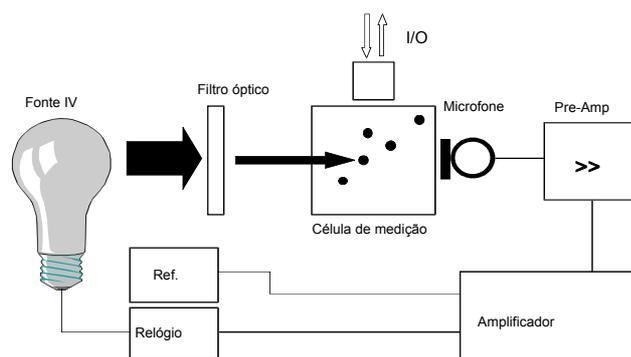


Fig 12 – Esquema do Sensor Opto-Acústico

#### Características

- 👍 Vida longa
- 👍 Zero Estável, pequeno desvio de sensibilidade.
- 👍 Alta seletividade
- 👍 Resistente a venenos
- 👎 Tempo de resposta ~1 minuto
- 👎 Suscetível a choques mecânicos e vibrações durante a operação (microfone!).
- 👎 Sinal não-linear

#### Aplicações

- Detecção de gás carbônico para o controle da ventilação e ar condicionado, ou controlando as condições atmosféricas em silos, armazenagem de alimentos e cervejarias.
- Detecção de hidrocarbonetos
- Detecção de outros gases é possível escolhendo-se outros comprimentos de onda (diferentes filtros IV).

### 3. Proteção contra Explosões e Controle de Limites de Tolerância

#### 3.1 Introdução

Os riscos provenientes de quaisquer gases tóxicos ou explosivos são determinados pela sua concentração no ar. Os gases e vapores combustíveis, misturados com o ar só são explosivos dentro de faixas de concentração específicas. Essas faixas são definidas como **Limite Inferior de Explosividade (LIE)** e **Limite Superior de Explosividade (LSE)**. As concentrações de LIE são na maioria dos casos de poucos % em volume. Normalmente, as concentrações são expressas em % do LIE (100% LIE) e os sensores são calibrados entre 40-60%). As concentrações de gases tóxicos são expressas em ppm (partes por milhão) (1% = 10.000 ppm) ou em mg/m<sup>3</sup> (unidade de massa). Para os gases tóxicos, os **Limites de Tolerância (LT)** são a máxima concentração que uma pessoa pode respirar num período de 8 horas de trabalho. Este valor é chamado em alemão **MAK** e em inglês **TLV**. Para expressar a importância da dosagem de exposição ao gás é considerada uma média de exposição de 8 horas. Outro importante dado encontrado na literatura específica de substâncias tóxicas é o nível **IPSV (Imediatamente Perigoso à Saúde e à Vida)**, nível em que ocorrem efeitos não-irreversíveis quando uma fuga de área perigosa é possível em até 30 minutos..

#### 3.2 Proteção contra Explosões

##### 3.2.1 Pré-Condições

Para que ocorra uma queima três pré-requisitos são necessários:

Combustível, oxigênio e fonte de ignição para dar a energia inicial. Se o combustível está numa faixa de concentração específica e localizado adequadamente, a velocidade de **oxidação** aumenta até que a reação seja chamada de **explosão**. Se o aumento da pressão que ocorre aumenta e atinge velocidades ultrassônicas, é chamado de **detonação**. As condições podem ser visualizadas sob a forma de um triângulo ou de um quadrado (Fig 13).

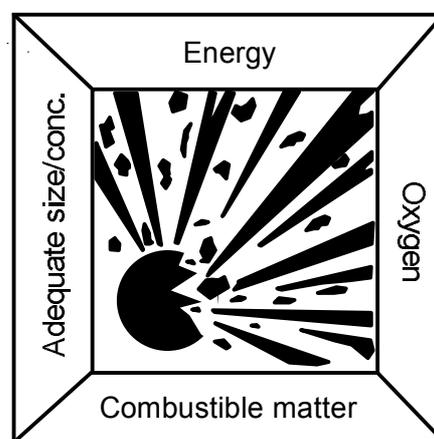
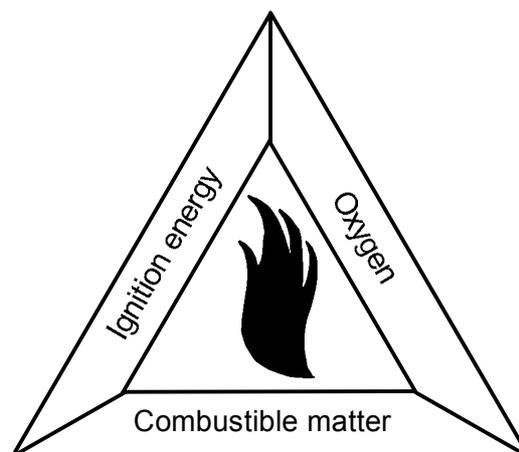


Fig. 13 : Triângulo do Fogo e Quadrado da Explosão

##### 3.2.2 Limites de Explosividade

Se a mistura de um gás combustível com o ar é **pobre**, não há ignição: sua concentração está **abaixo** do LIE. Se a mistura é **rica**, também não haverá explosão porque a concentração está **acima** do LSE. Só haverá risco de explosão na faixa entre o LIE e o LSE, que é específica a cada gás. Por isso, os sensores de gases utilizados para proteção contra explosões detectam concentrações abaixo dos 100% do LIE. É comum ajustarem-se alarmes em torno dos 60% (Fig 14)

##### 3.2.3 Flash Point

Para os líquidos inflamáveis, o **Flash Point** ou **Ponto de Fulgor** é a principal propriedade para definir o risco de explosão. O **flash point** é a temperatura de um líquido onde sua pressão de vapor excede o LIE da substância. Em se cumprindo esta condição, o vapor pode explodir se houver uma fonte de ignição. Já que todos os vapores de líquidos inflamáveis são mais pesados do que o ar (peso molecular maior do que 28g/mol), eles se acumulam (no ar

parado) próximo à superfície do líquido. Portanto, os detetores para estas aplicações são localizados próximo ao solo.

### 3.2.4 Ignição

As seguintes fontes de ignição devem ser levadas em consideração nas aplicações práticas:

- Chamas abertas: Maçaricos de solda, fósforos, curtos-circuitos elétricos.
- Superfícies aquecidas: aquecedores, acendimento de equipamentos elétricos.
- Centelhas mecânicas: centelhamento de metais
- Centelhas elétricas: descargas eletrostáticas, contatos abrindo ou fechando, raios.

A fonte de ignição deve Ter uma **energia mínima de ignição** a fim de dar ignição a uma mistura explosiva. Portanto, os materiais combustíveis são classificados em categorias de acordo com seu risco de ignição.

*trabalharem em áreas de risco são classificados de acordo com sua máxima temperatura superficial:*

Categoria de Temperatura	Temperatura superficial máxima permissível
T1	450°C
T2	300°C
T3	200°C
T4	135°C
T5	100°C
T6	85°C

### 3.2.5 Categorias de Temperatura

*Gases e vapores combustíveis são classificados em categorias de temperaturas baseadas em sua temperatura de ignição (DIN 51794, EN 50014). Os equipamentos para*

O dissulfeto de carbono ( $\text{CS}_2$ ), por exemplo, tem uma temperatura de ignição de 95 °C e, portanto se enquadra na categoria de temperatura T6.

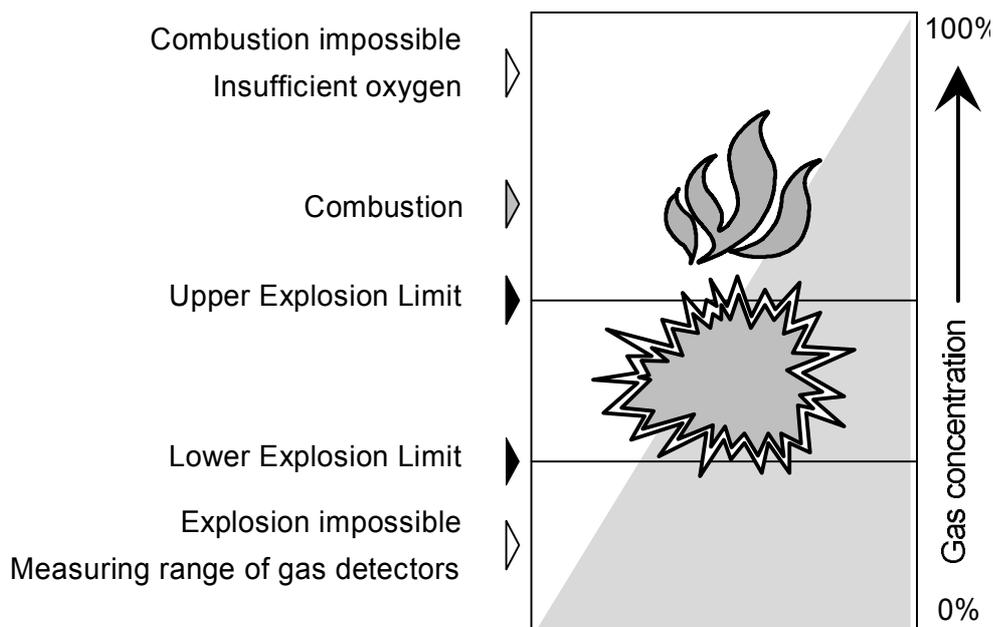


Fig. 14. : Faixas de Explosividade

### 3.2.6 Grupos de Explosividade

Os equipamentos para trabalharem em áreas de risco podem ser produzidos encapsulados em cápsulas herméticas. Na maioria dos casos, não é possível produzir uma cápsula completamente hermética ao gás. Por isso é essencial prevenir que uma ignição que tem lugar dentro da cápsula passe para fora e dê ignição na mistura explosiva ambiental. Isso se consegue se não se exceder o **MESG (Maximum Experimental Safe Gap – Faixa máxima experimental segura)**

Os equipamentos elétricos para atmosferas potencialmente explosivas são divididos em grupos:

- Grupo I : Aparelhos elétricos para minas.
- Grupo II : Aparelhos elétricos para locais com uma atmosfera potencialmente explosivas que não minas.

A tabela a seguir ilustra essa classificação:

Grupos de Explosividade (DIN 57165)	EN 50014	Max. Safe gap
II A	A	>0.9mm
II B	B	>0.5.0.9mm
II C	C	<0.5mm

A maioria de todos os materiais combustíveis se enquadra nos grupos de explosividade IIA ou IIB. Poucos materiais como o dissulfeto de carbono ( $CS_2$ ), Hidrogênio ( $H_2$ ) ou Acetileno ( $C_2H_2$ ) se enquadram no grupo IIC.

### 3.2.8 Classificação dos Detetores CerGas

***As carcaças dos detetores CerGas (MG 60-02) e seus correspondentes sensores têm a seguinte designação Ex:***

EEx d IIC T6

Os Detetores CerGas são certificados por entidades europeias: CESI (Itália), INERIS (França), SEV (Suíça) e PTB (Alemanha) de acordo com EN 50014 e EN 50018.

Se a gama completa dos materiais deve ser monitorada, os detetores devem atender às especificações do grupo IIC e à classe de temperatura T6 que é característica dos detetores CerGas.

### 3.2.7 Classificação de Áreas Perigosas

Todas as áreas nas quais podem estar presentes gases ou vapores explosivos são classificadas de acordo com a probabilidade e duração de sua ocorrência.

- **Zona 0**  
Área na qual uma atmosfera potencialmente explosiva está presente tanto continuamente como em períodos extensos (dentro de containeres, vasos reativos).
- **Zona 1**  
Área na qual uma atmosfera potencialmente explosiva ocorre periodicamente ou ocasionalmente (vizinhanças imediatas de containeres da Zona 0, locais de enchimento).
- **Zona 2**  
Área na qual uma atmosfera potencialmente explosiva só muito raramente é esperada, e por curtos períodos (< 2 horas).

Os detetores CerGas são empregados em Zona 1 e 2.

A carcaça dos detetores tem proteção do tipo “d”, isto significa carcaça à prova de pressão e chama (que pode resistir à pressão se uma explosão ocorre dentro da carcaça e, portanto não vai transmitir a explosão para a atmosfera exterior).

### 3.3 Controle de Limites de Tolerância

#### 3.3.1 Definição

O **LT (Limite de Tolerância)** é a máxima concentração atmosférica de uma substância contaminante (ou sua média dependendo da substância) à qual os trabalhadores podem estar expostos por um período de 8 horas de trabalho sem prejuízo à sua saúde.

#### 3.3.2 Exemplos (Suíça 1994)

Substância	Fórmula	LT [ppm]
Amônia	NH <sub>3</sub>	25
Monóxido de Carbono	CO	30
Óxido de Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	1
Gás Clorídrico	HCl	5
Gás Cianídrico	HCN	10
Gás Sulfídrico	H <sub>2</sub> S	10
Óxido Nítrico	NO	25
Dióxido de Nitrogênio	NO <sub>2</sub>	3
Dióxido de Enxofre	SO <sub>2</sub>	2

No caso de detetores de gases tóxicos, o valor limite de tolerância é ajustado para ser o **Alerta**.

**Apêndice**Glossário

<b>Unidade de Massa Atômica</b>	UMA : Uma medida de massa atômica definida como sendo 1/12 da massa de um átomo de carbono de massa 12.
<b>Número Atômico</b>	Uma integração que expressa o número de prótons no núcleo do átomo.
<b>Número de Avogadro</b>	O número de partículas em um mol de substância. $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} / \text{mol}$
<b>Ponto de ebulição</b>	Temperatura de transição entre líquido e gás
<b>Veneno de catalisador</b>	Substância que permanentemente danifica a operação de detetores catalíticos (pelistores); exemplos são os óleos e graxas de silicone, combustíveis de chumbo e ésteres fosfatados).
<b>Combustão</b>	Oxidação de materiais inflamáveis normalmente desenvolvendo calor e chama e grandes quantidades de $\text{CO}_2$ e $\text{H}_2\text{O}$ .
<b>Concentração</b>	A quantidade de uma substância em peso, mol ou equivalentes contida numa unidade de volume.
<b>Ponto Crítico</b>	O estado termodinâmico no qual a fase líquida e a fase gasosa de uma substância coexistem em equilíbrio numa máxima temperatura possível. A temperaturas mais altas a fase líquida não pode existir.
<b>Deflagração</b>	Rápida oxidação de materiais inflamáveis com velocidade de expansão < 100 m/s.
<b>Densidade</b>	Concentração de matéria, medida pela unidade de massa por unidade de volume.
<b>Detonação</b>	Oxidação auto-propagável extremamente rápida de uma substância inflamável acompanhada de um aumento de pressão e velocidade de expansão > 1000m/s.
<b>Explosão</b>	Rápida oxidação de uma substância inflamável com velocidade de expansão entre 100 e 1000 m/s.
<b>Flash point</b>	A mínima temperatura na qual um líquido emite suficiente vapor para formar com o ar uma mistura possível de entrar em ignição próxima à superfície do líquido ou dentro de um vaso.
<b>Constante de um Gás</b>	Fator na equação de estado de gases ideais. $R = 8,314 \text{ J/K mol}$
<b>Gás Ideal</b>	Um gás que não mostra interação entre suas partículas e segue a lei dos gases ideais: $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ p=pressão, V=volume, n=número de mols, R=constante do gás, T=temperatura.
<b>IPVS</b>	Concentração de um gás imediatamente perigosa à saúde e à vida se a pessoa não se retirar do ambiente perigoso em até 30 minutos.
<b>Inibidor</b>	Substância que temporariamente dificulta a operação de um sensor pelistor, por exemplo, cloro, bromo e iodo.
<b>LIE</b>	Limite Inferior de Explosividade. A mínima concentração de um gás/vapor em mistura com o ar, possível de entrar em combustão ativada por uma fonte de ignição.

<b>MAK</b>	Maximale Arbeitsplatzkonzentration. Equivalente ao TLV ou LT
<b>Ponto de Fusão</b>	Temperatura de transição entre sólido e líquido.
<b>MESG</b>	Maximum experimental safe gap. Característica de carcaças de detetores à prova de chama.
<b>Volume Molar</b>	O volume ocupado por um mol de qualquer gás medido nas condições- padrão de temperatura e pressão: $V_m = 22.414 \text{ l/mol}$
<b>Mol</b>	A quantidade de uma substância que contém tantas partículas quanto os átomos existentes em 12 g de carbono $^{12}\text{C}$ .
<b>Peso Molecular</b>	A soma dos pesos atômicos de todos os átomos de uma molécula.
<b>Molécula</b>	A menor unidade de matéria que pode existir íntegra e por si só e conservar todas as propriedades da substância original.
<b>Oxidação</b>	Qualquer processo que aumenta a proporção de oxigênio num composto.
<b>PAS</b>	Photoacoustic Spectroscopy (Espectroscopia Fotoacústica)
<b>Pelistor</b>	Dois elementos sendo um ativo e outro passivo. São leitos cerâmicos (pérolas) usados para detectar gases e vapores inflamáveis.
<b>ppm</b>	Partes por milhão – partes de poluente gasoso por partes de ar respirado.
<b>Gás Real</b>	Um gás onde as partículas têm tamanho finito tendo uma força de atração entre si, conforme a equação de estado de Van der Waals: $a, b$ são constantes específicas para cada gás.
<b>Pressão de Saturação de Vapor</b>	A pressão exercida quando um líquido está em equilíbrio com seu próprio vapor. A pressão de vapor é função da substância e da temperatura.
<b>Condições-padrão</b>	0°C and 1013hPa foram escolhidos como condições padrão ou normais. Também conhecidas como CNPT (condições normais de pressão e temperatura).
<b>Estados de Agregação</b>	Três fases possíveis que todas as substâncias puras podem ter (sólido, líquido e gás).
<b>STEL</b>	Short-term exposure limit. Exposição a curto espaço de tempo a um gás no ambiente. Esse tempo de exposição não pode exceder 15 minutos nos ambientes de trabalho.
<b>LT</b>	Limite de tolerância: a máxima concentração permitida em locais de trabalho por um período de 8 horas. Usualmente é computada como sendo a média aritmética das exposições.
<b>Ponto Triplo</b>	Estado termodinâmico no qual as três fases de uma substância existem em equilíbrio.
<b>TWA</b>	Time weighted average (média aritmética de exposição a gases no ambiente de trabalho num período de 8 horas). Equivale ao LT no Brasil.
<b>LSE</b>	Limite Superior de Explosividade. A máxima concentração de um gás/vapor em mistura com o ar, possível de entrar em combustão ativada por uma fonte de ignição. Acima dela, a ignição não é possível.
<b>Vapor</b>	As palavras vapor e gás são frequentemente utilizadas indistintamente. Vapor é mais usada para substâncias que em temperaturas ambientais são líquidas, tais como vapores de álcool, éter, acetona, etc.

<b>Densidade de Vapor</b>	Proporção entre o peso numa unidade de volume de um gás puro e o peso de igual volume do ar seco. É determinada calculando-se a proporção do peso molecular do gás e o peso molecular do ar seco (29 g/mol). Uma densidade de vapor maior do que 1 indica que o gás é mais pesado do que o ar e neste caso ele tende a se concentrar no solo e não se dissipa rapidamente. Os vapores de líquidos inflamáveis geralmente são mais densos que o ar em temperaturas ambientes e podem correr pelo solo a distâncias consideráveis.
---------------------------	--

## Propriedades de Substâncias Combustíveis mais Comuns

Nome	Fórmula	Peso Molecular	PF °C	Dens. Vapor Ar=1	Dens. Líq. g/l	FP °C	LIE Vol. %	LSE Vol. %
<b>Acetona</b>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.1	56	2.0	790	-19	2.5	13
<b>Acetileno</b>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26.0	-84	0.9	-	-18	1.5	82
<b>Amônia</b>	NH <sub>3</sub>	17.0	-33	0.6	-	-20	15	28
<b>Butano</b>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.1	-1	2.1	-	-60	1.5	8.5
<b>Álcool Butílico</b>	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	74.1	118	2.6	810	29	1.4	9.0
<b>Dissulfeto de Carbono</b>	CS <sub>2</sub>	76.1	46	2.6	1260	-30	1.0	60
<b>Monóxido de Carbono</b>	CO	28.0	-191	0.97	-	-	12.5	74
<b>Ciclohexano</b>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.2	81	2.9	780	-18	1.2	7.8
<b>Ciclopentano</b>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.1	49	2.4	750	-51	1.5	-
<b>Decano</b>	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142.3	174	4.9	730	46	0.7	5.4
<b>Éter etílico</b>	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	74.1	34	2.55	710	-20	1.7	36
<b>Etano</b>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.1	-89	1.0	440	-135	3.0	15.5
<b>Álcool Etilico</b>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46.1	78	1.6	790	12	3.3	19
<b>Etileno</b>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.0	-104	0.97	-	-136	2.7	32
<b>Óxido de Etileno</b>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44.0	11	1.52	880	-18	2.6	100
<b>Heptano</b>	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	98	3.46	680	-4	1.1	6.7
<b>Hexano</b>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.2	69	2.79	660	-21	1.2	7.4
<b>Hidrogênio</b>	H <sub>2</sub>	2.0	-253	0.07	-	-	4.0	76
<b>Gás Sulfídrico</b>	H <sub>2</sub> S	34.0	-60	1.19	-	-	4.0	46
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	16.0	-161	0.55	-	-	4.5	15
<b>Álcool Metílico</b>	CH <sub>3</sub> OH	32.0	65	1.11	790	11	5.5	36
<b>Nonano</b>	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128.3	151	4.43	720	30	0.7	5.6
<b>Octane</b>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.2	126	3.94	700	12	0.8	3.2

<b>Pentano</b>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.2	36	2.48	630	-20	1.4	8.0
<b>Propano</b>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.1	-42	1.56	-	-	2.0	9.5
<b>Tolueno</b>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.1	111	3.18	870	6	1.2	7
<b>Xileno</b>	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.2	144	3.66	880	30	1.0	6.7

Apesar de a CERBERUS Ter se preocupado em fornecer as informações as mais precisas, não assume qualquer responsabilidade pelas conseqüências do uso destas informações.

### Propriedades de alguns gases tóxicos

Nome	Fórmula	LT ppm	LT (TWA) ppm	STEL ppm	Limite de Olfato (ppm)
<b>Amônia</b>	NH <sub>3</sub>	50	25	50	5
<b>Gás Carbônico</b>	CO <sub>2</sub>	5000	5000	10000	-
<b>Dissulfeto de Carbono</b>	CS <sub>2</sub>	10	10	20	0.2
<b>Monóxido de Carbono</b>	CO	30	35	50	-
<b>Cloro</b>	Cl <sub>2</sub>	0.5	0.5	1	0.02
<b>Óxido de Etileno</b>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	1	1	-	700
<b>Gás Clorídrico</b>	HCl	5	5	-	5
<b>Gás Cianídrico</b>	HCN	10	10	-	1
<b>Gás Sulfídrico</b>	H <sub>2</sub> S	10	10	15	0.1

### Bibliografia

#### **Propriedades de gases tóxicos e inflamáveis:**

- CRC Handbook of Chemistry and Physics 72<sup>nd</sup> Ed. (1991), Lide, D.R. Ed., CRC Press, Boston
- Hazardous Chemicals Desk Reference (1987), Sax, N.I., Lewis, R.J., Van Nostrand, New York
- Fire Protection Guide to Hazardous Materials 10<sup>th</sup> Ed. (1991) NFPA (National Fire Protection Assoc.)
- Fire Protection Handbook 16<sup>th</sup> Ed. (1986) Cote, A.E. Ed., NFPA, Quincy MA
- Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe (1991), Nabert, K., Schön, G., Deutscher Eichverlag, Braunschweig
- Handbuch der gefährlichen Güter (1980), Hommel, G., Springer-Verlag, Berlin
- Grenzwerte am Arbeitsplatz 1994. MAK-Werte. SUVA 1903.d (1994), SUVA, Luzern

#### **Sensores**

- Firth, J.G. (1981) Measurement of Flammable Gases and Vapours. In: *Detection and Measurement of Hazardous Gases* (C.F. Cullis, J.G. Firth, Ed.), Heinemann, London.
- Oehme, F. (1991) Chemische Sensoren, Vieweg, Braunschweig.

- Jones, E. (1987) The Pellistor Catalytic Gas Sensor. In: *Solid State Gas Sensors* (P.T. Moseley, B.C. Tofield, Ed.), Adam Hilger, Bristol.
- Möbius, H. (1992) Solid-State Electrochemical Potentiometric Sensors for Gas Analysis. In: *Sensors- A Comprehensive Survey*, Vol.3 (W. Göpel, J. Hesse, J.N. Zemel, Ed.) VCH, Weinheim.
- Hobbs, B.S. (1991) Liquid Electrolyte Fuel Cells. In: *Techniques and Mechanisms in Gas Sensing* (P.T. Moseley Ed. Adam Hilger, Bristol).

Tradução: João Antonio Munhoz  
joao.munhoz@bol.com.br