



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de Lorena – EEL

“LOM3228 - MÉTODOS EXPERIMENTAIS DA FÍSICA I”

Prof. Dr. Durval Rodrigues Junior

Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR)

Escola de Engenharia de Lorena (EEL)

Universidade de São Paulo (USP)

Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6 - Lorena, SP 12600-970

durval@demar.eel.usp.br

www.eel.usp.br – Comunidade – Docentes (Página dos professores)

Rodovia Itajubá-Lorena, Km 74,5 - Caixa Postal 116
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Fax (12) 3153-3133
Tel. (Direto) (12) 3159-5007/3153-3209

USP Lorena
www.eel.usp.br

Polo Urbo-Industrial Gleba AI-6 - Caixa Postal 116
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Fax (12) 3153-3006
Tel. (PABX) (12) 3159-9900

Segurança em Criogenia

Perigos ligados aos Criogênicos

- ✓ Perigo de queimaduras causadas pela manipulação e contato com o frio.
- ✓ Perigo de asfixia por falta de oxigênio.
- ✓ Perigo de fragilização de alguns materiais.
- ✓ Perigo de estresse térmico.
- ✓ Perigos causados pela condensação de gases ou umidade.
- ✓ Perigo de acúmulo de pressão por evaporação de criogênicos.
- ✓ Perigo de combustão ou explosão.



Segurança em Criogenia

Perigos ligados ao Manuseio de Criogênicos

Durante o manuseio de Criogênicos deve-se considerar dois principais riscos:

- ✓ **Queimaduras**, pelo contato com o Frio.
- ✓ **Asfixia**, causada pela evaporação de líquidos criogênicos em áreas fechadas ou mal ventiladas.



Segurança em Criogenia

Perigos de Queimaduras

- ✓ O contato direto com líquidos e gases, bem como superfícies em temperaturas criogênicas pode levar a importantes danos na pele (queimaduras de frio).
- ✓ Olhos e mucosas estão em maior risco.



propano líquido



nitrogênio líquido

Segurança em Criogenia

Perigos ligados ao Manuseio de Criogênicos

- ✓ Luvas e equipamentos de proteção para pele, olhos e pés são indispensáveis.
- ✓ Chinelos e sandálias são inaceitáveis.



Segurança em Criogenia

Perigo de Asfixia por falta de oxigênio



Deficiência de oxigênio entre 10 a 12%
A VÍTIMA SENTE APENAS UM
MAL ESTAR E NÃO PERCEBE O
PERIGO DA ASFIXIA, QUE PODE OCORRER
SUBITAMENTE E SEM AVISO.

MAS

Com menos de 6% de oxigênio

perda imediata de
consciência



Segurança em Criogenia

Perigo de Asfixia

SINTOMAS DA DEFICIÊNCIA DE OXIGÊNIO (%)

- 19% - 15% > redução acentuada da velocidade de reação
- 15% - 12% > respirações profundas, pulso rápido, dificuldades de coordenação
- 12% - 10% > vertigem, lábios ligeiramente azuis
- 10% - 8% > náuseas, vômitos, perda de consciência
- 8% - 6% > de 4-8 minutos danos cerebrais, coma, morte em 8 minutos
- 6% - 4% > morte em 40 segundos

MEIOS DE PROTEÇÃO E MEDIDAS PREVENTIVAS

- ✓ Providenciar ventilação adequada para o local de trabalho.
- ✓ Colocar tubulação de escape para os tanques.
- ✓ Equipar o local com MONITOR DE OXIGÊNIO
- ✓ Entrar em áreas restritas, por exemplo, poços ou tanques, com suprimento adicional de oxigênio ou monitor de oxigênio.



Monitor de Oxigênio

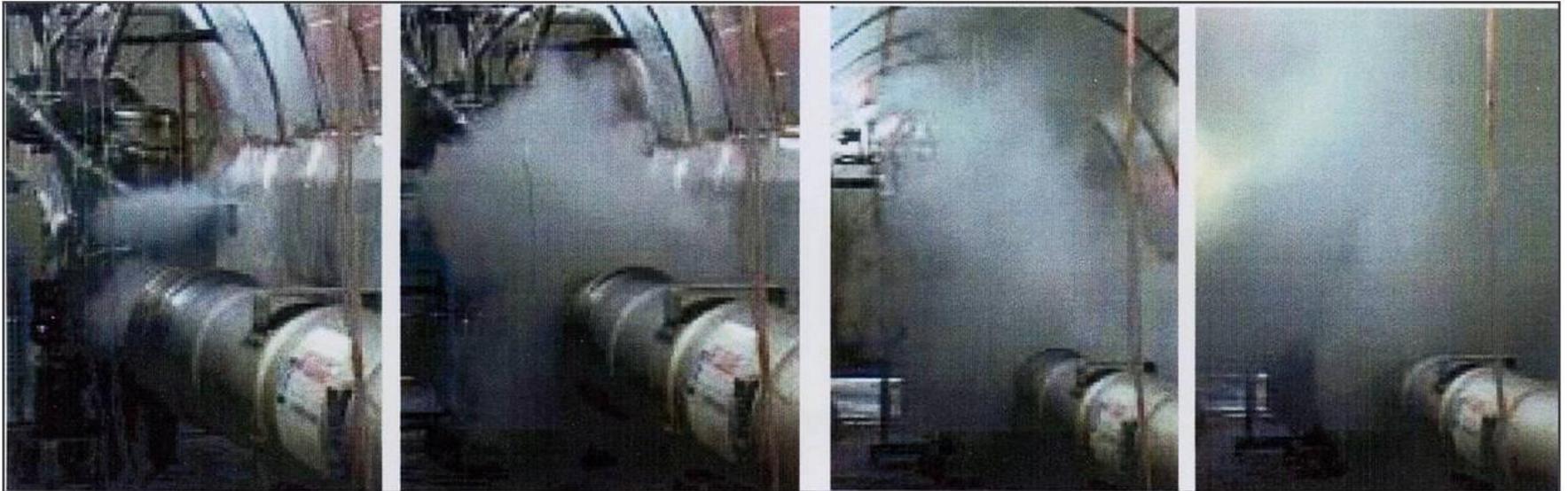
Segurança em Criogenia

Perigo de Asfixia por falta de oxigênio

Acidente ocorrido no LHC do acelerador de partículas CERN



FORMAÇÃO DE NEVOEIRO!



**Início da descarga de hélio líquido
(Hélio mistura com o ar circundante)**

**Poucos segundos depois a concentração
de oxigênio no ar circundante cai abruptamente.**

Segurança em Criogenia

Perigo de fragilização de materiais

- ✓ O resfriamento pode facilitar a fragilização de certos materiais.
- ✓ Deve-se usar aços adequados para uso em baixas temperaturas.
- ✓ Em geral, os materiais com estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC), como cobre, níquel, certas ligas de níquel e cobre, zircônio e titânio são adequados para aplicações criogênicas.
- ✓ Plásticos e polímeros devem ser evitados.
- ✓ Nunca deve-se usar fita de teflon para vedações a baixas temperaturas.



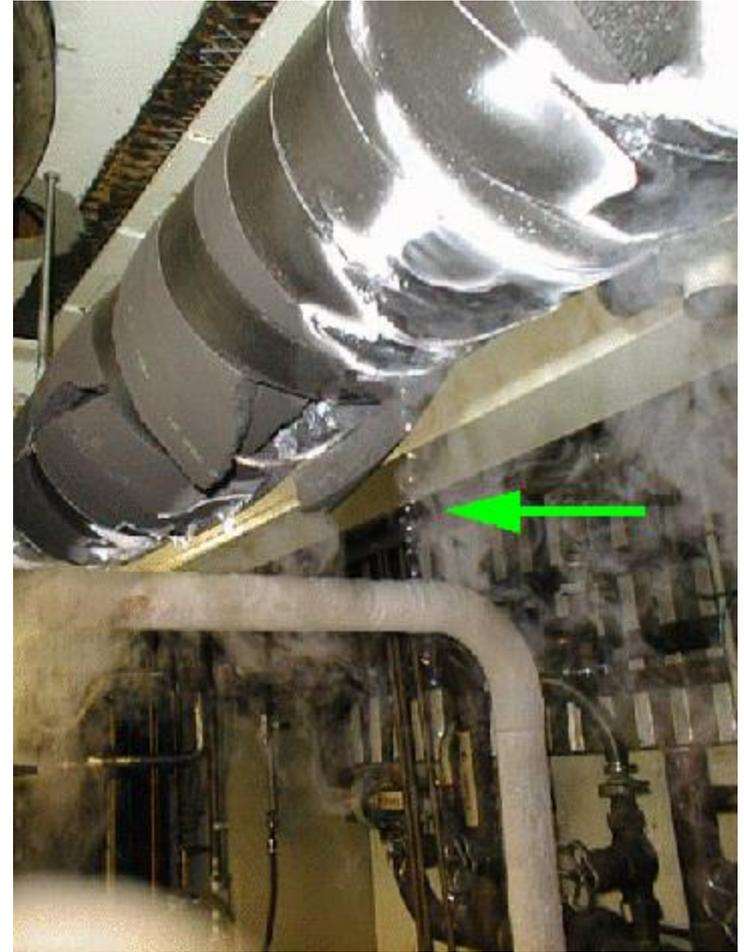
Segurança em Criogenia

Perigo de condensação

- ✓ Condensações indesejadas podem levar a danos mecânicos ou elétricos:
 - por acumulação de gelo nas válvulas, turbinas, painéis elétricos, etc.
 - por gotejamento de condensado em temperaturas criogênicas, como ar ou oxigênio em combustíveis líquidos ou materiais inflamáveis.
 - por água condensada.
 - por formação de misturas explosivas.

Importante!

Ar condensado é um forte promotor de combustão pois pode ter uma concentração de oxigênio de até 50%. Isto é devido ao maior ponto de ebulição do oxigênio.



Segurança em Criogenia

Sugestões para trabalho com os Criogênicos

- ✓ Ao trabalhar com criogênicos saiba bem as suas características e conheça detalhadamente as normas de transporte, manuseio e estocagem.
- ✓ A sua segurança e a de outras pessoas dependem dos seus procedimentos.
- ✓ Informe-se sobre o que fazer em situações de emergência.



Segurança em Criogenia

Sugestões para trabalho com os Criogênicos

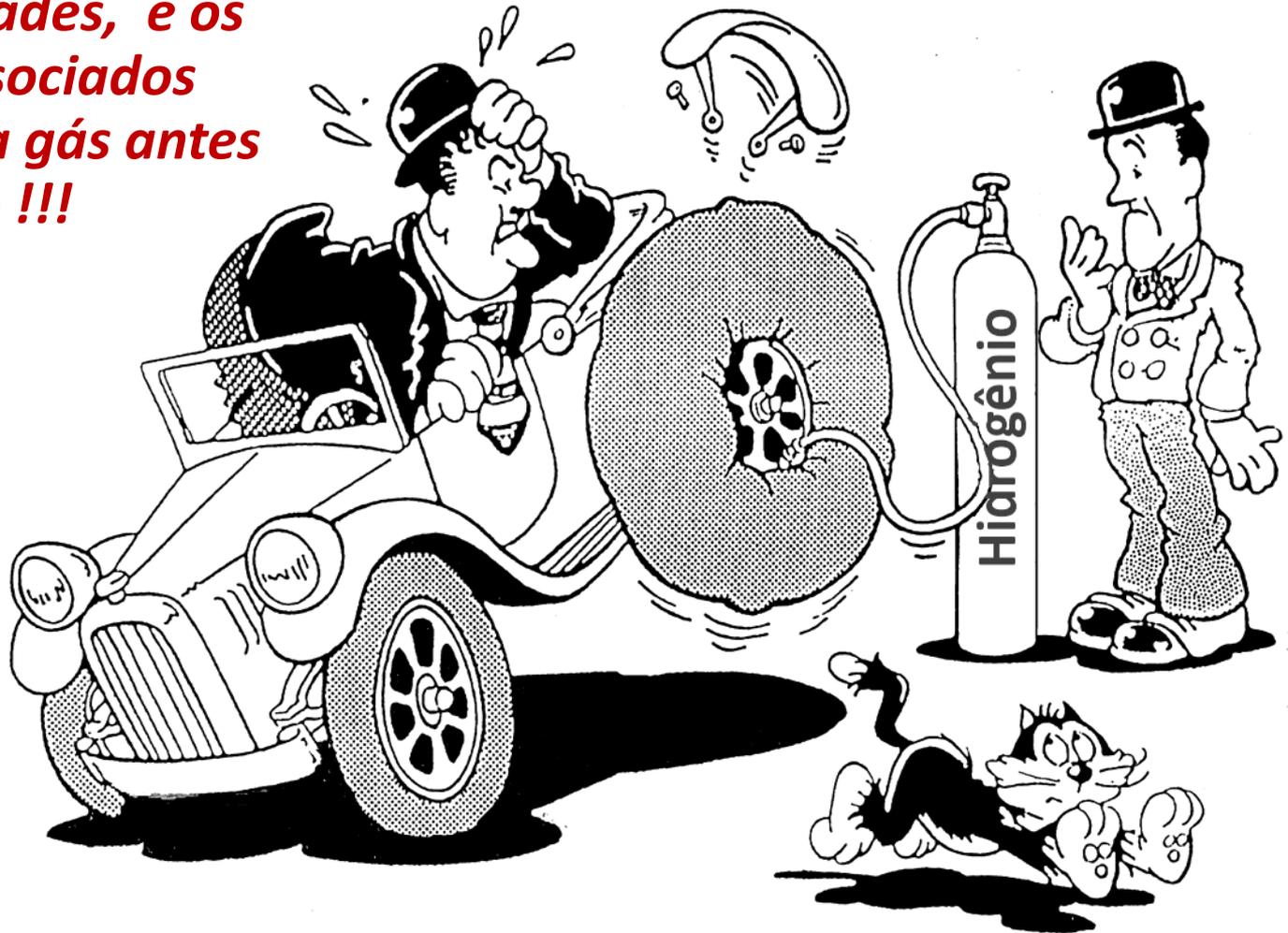
- ✓ Os criogênicos podem ser inflamáveis, corrosivos, tóxicos, oxidantes, provocando muitas reações indesejáveis.
- ✓ Verifique se são mais leves ou mais pesados que o ar.
- ✓ Saiba quais são as pressões e temperaturas envolvidas.



Segurança em Criogenia

Sugestões para trabalho com os Criogênicos

Saiba e entenda as propriedades, e os riscos associados com cada gás antes de usá-lo !!!



Segurança em Criogenia

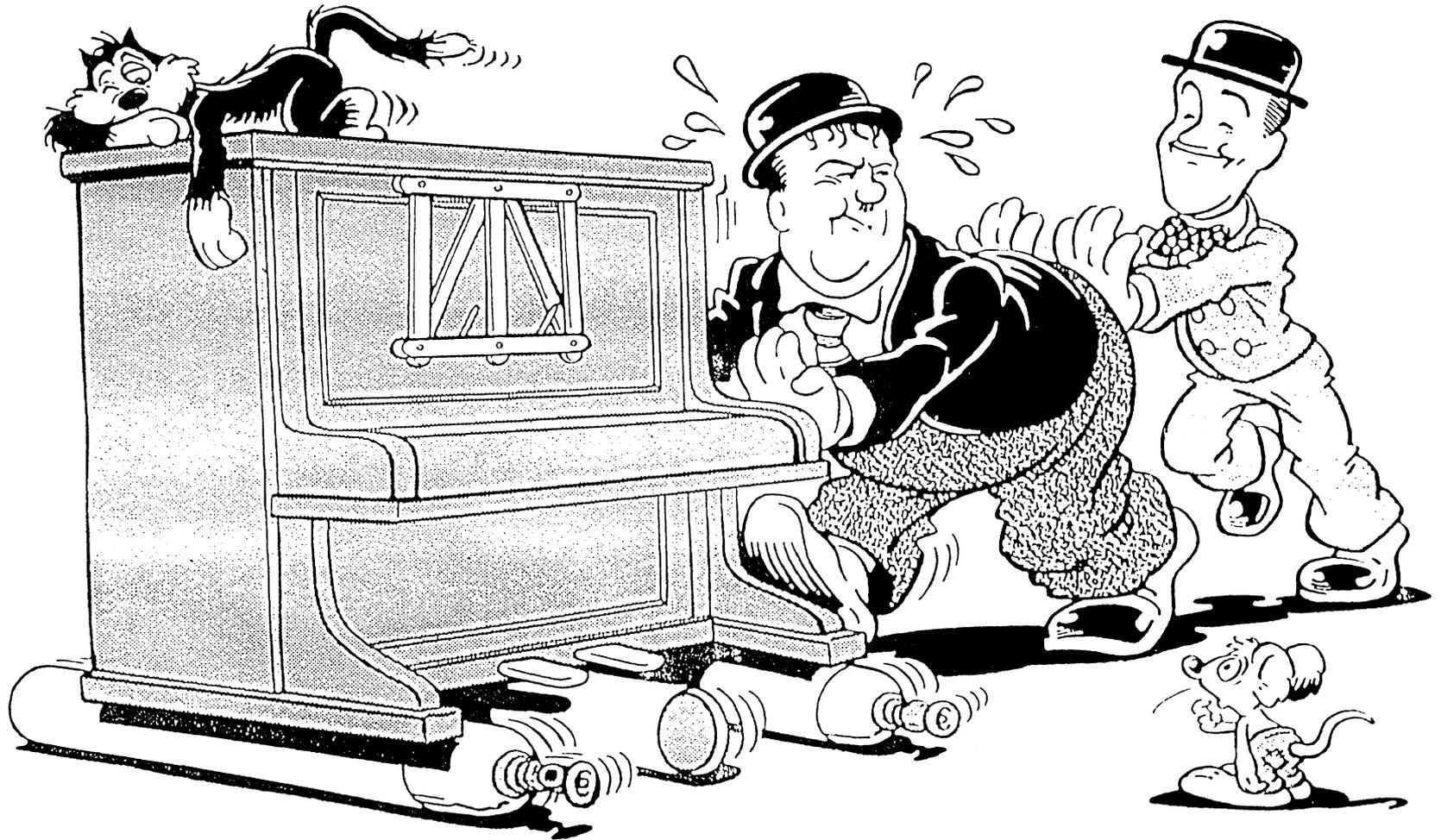
Perigos ligados ao Manuseio de Criogênicos

- ✓ O deslocamento de cilindros criogênicos deve ser pelo anel superior, nunca segurando válvulas ou medidores. Apenas pelo anel superior.
- ✓ Observe que os cilindros são diferentes para cada criogênico. Para usar o criogênico em outro modelo, informe-se antes com o fabricante.



Segurança em Criogenia

Perigos ligados ao Manuseio de Criogênicos



Nunca use cilindros como rolos !!!

Segurança em Criogenia

Perigos ligados ao Manuseio de Criogênicos

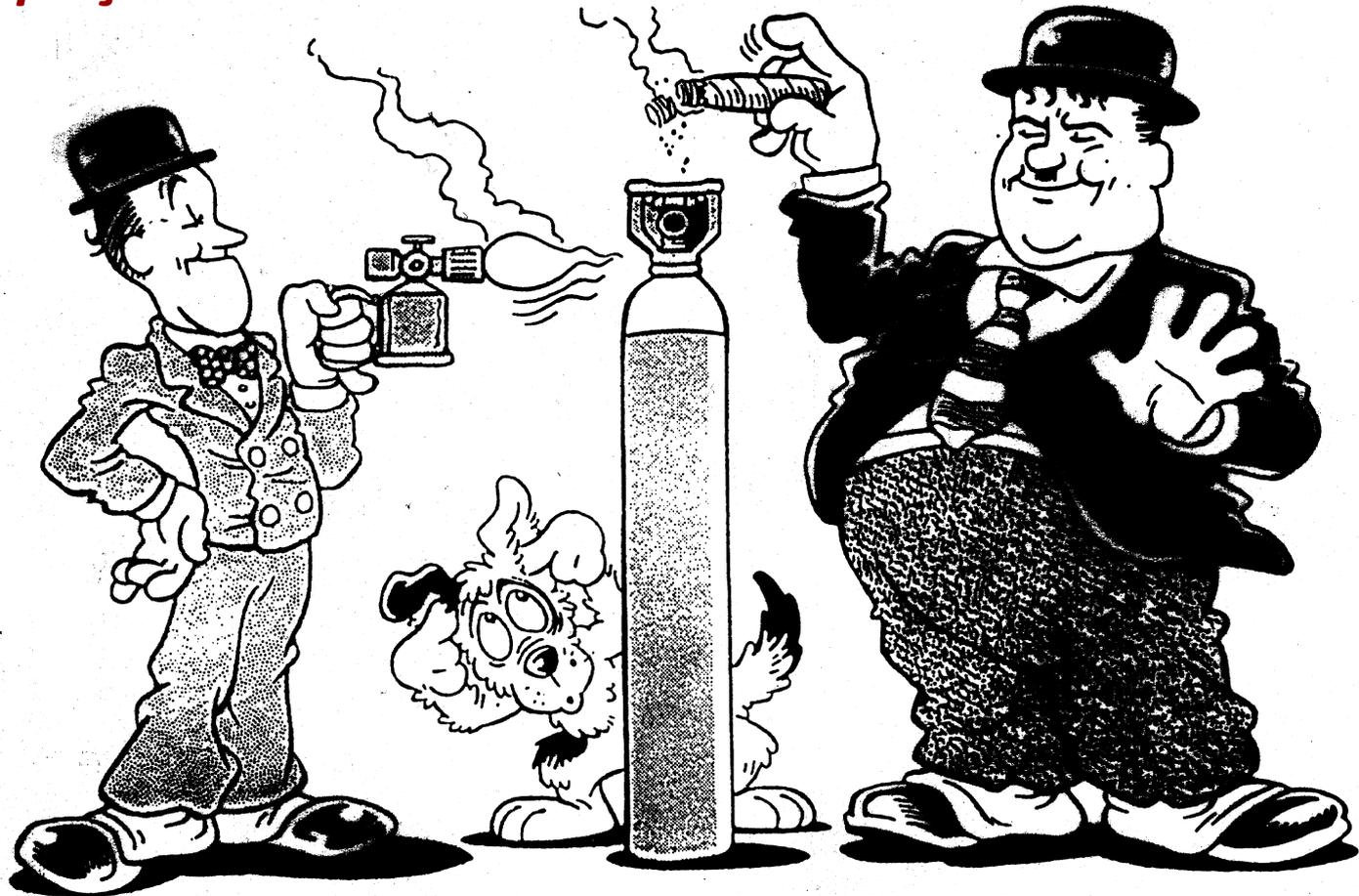


Transporte os cilindros de forma adequada !!!

Segurança em Criogenia

Perigos ligados ao Manuseio de Criogênicos

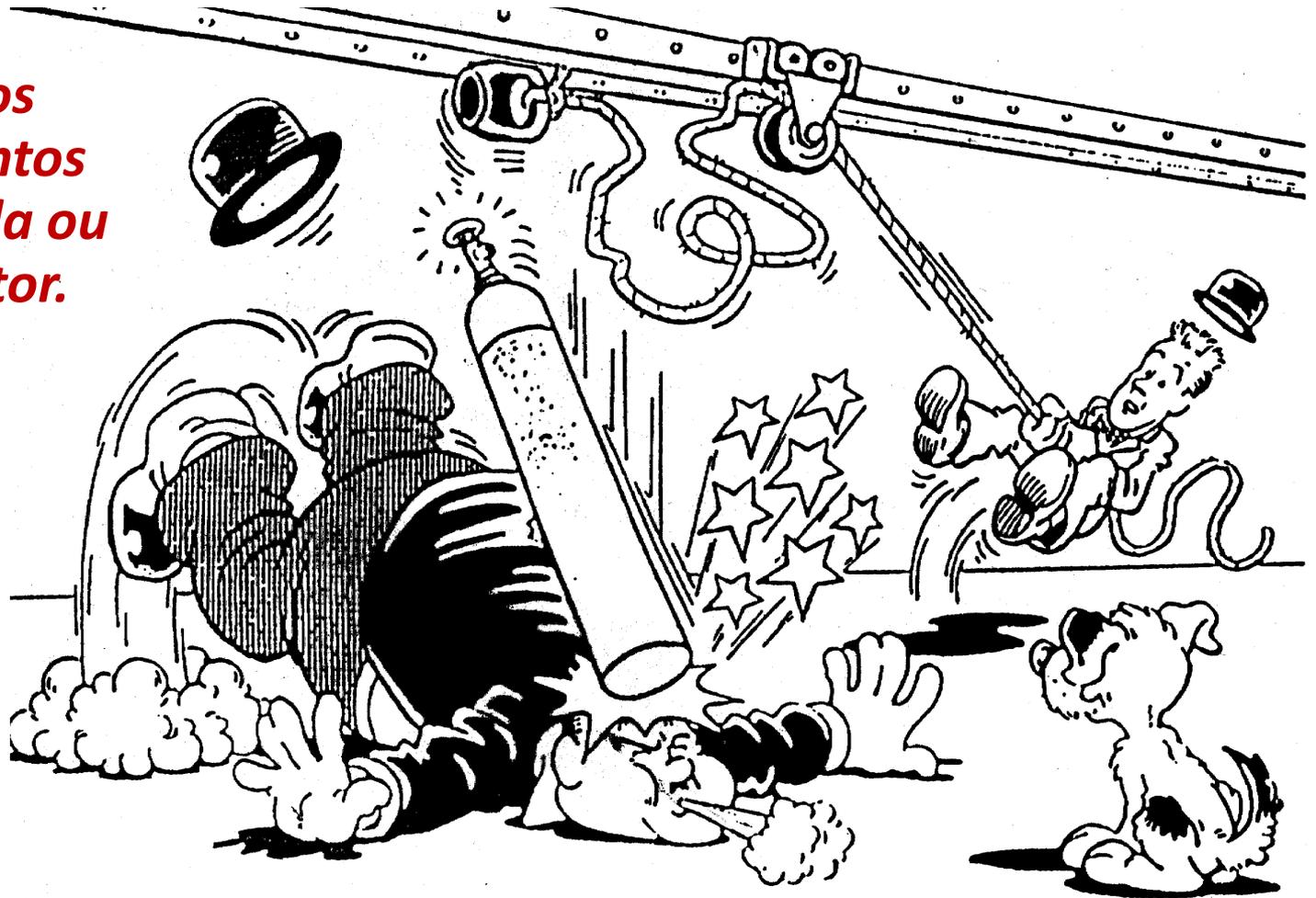
Nunca fume próximo dos gases !!!
Nunca aqueça os cilindros !!!



Segurança em Criogenia

Perigos ligados ao Manuseio de Criogênicos

Nunca suspenda os equipamentos pela válvula ou pelo protetor.



Segurança em Criogenia

Perigo de acúmulo de pressão

- ✓ Líquidos criogênicos produzem grande quantidade de gás.
- ✓ Em um tanque criogênico em perfeitas condições, $\sim 2,3\%$ do líquido é convertido em gás por dia.
- ✓ A pressão aumenta até que a válvula de alívio seja acionada. Deve-se verificar se a válvula está funcionando corretamente e se há congelamento bloqueando a saída de gás.
- ✓ O nível máximo permitido de líquido nunca deve ser ultrapassado.



Válvula de pressão substituída por um plugue.



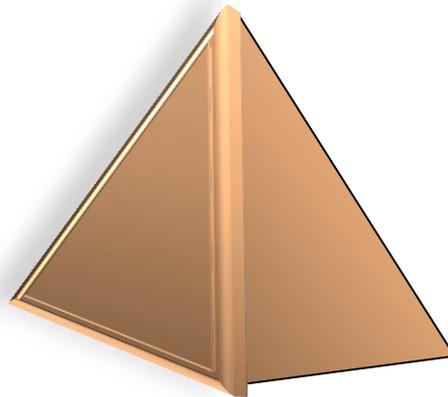
Segurança em Criogenia

Perigo de combustão ou explosão



OXIGÊNIO

CALOR



COMBUSTÍVEL

**REAÇÃO QUÍMICA
INCONTROLÁVEL**

Segurança em Criogenia

Perigos ligados ao Manuseio de Criogênicos

- ✓ Nunca use roupas de materiais sintéticos (nylon). Somente roupas de algodão.
- ✓ H_2 pode impregnar em materiais porosos, tornando-os mais inflamáveis.
- ✓ Água intensifica a evaporação devido ao superaquecimento.
JAMAIS JOGUE ÁGUA NO INTERIOR DE UM TANQUE, NEM NO SISTEMA DE ALÍVIO.
- ✓ Não confie nos sentidos pois:
 - ✓ poucos gases são coloridos (Cl_2 , NO_2)
 - ✓ pequenos vazamentos são inaudíveis
 - ✓ gases podem ser inodoros (CO)
 - ✓ gases podem inibir o olfato (H_2S)
 - ✓ gases podem ser tóxicos em baixas concentrações.



Segurança em Criogenia

Informações sobre segurança em criogenia

<http://www-safety.deas.harvard.edu/services/nitrogen.html>

<http://www.chem.uncc.edu/safety/NitrogenSafety.html>

Safety Department website

<http://www3.imperial.ac.uk/safety/guidanceandadvice/gasesandcryo>

<http://www3.imperial.ac.uk/safety/guidanceandadvice/workequip>

BOC

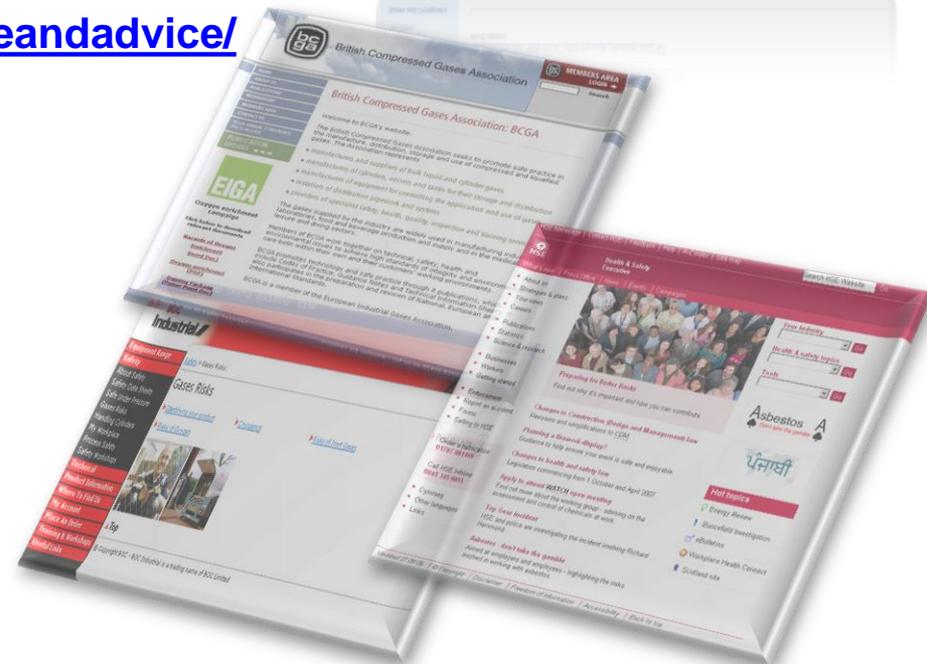
<http://www.bocindustrial.co.uk>

HSE

<http://www.hse.gov.uk/index.htm>

British Compressed Gases Association (BCGA)

<http://www.bcgga.co.uk/>



■ **Agradecimentos: Ao Prof. MSc. Johnson Ordoñez, IFGW, UNICAMP.**