

**JUAN CARLOS HERRERA**

**O CONTROLE DE ESTÁTICA EM ÁREAS CLASSIFICADAS**

**SÃO PAULO**

**2010**

**JUAN CARLOS HERRERA**

## **O CONTROLE DE ESTÁTICA EM ÁREAS CLASSIFICADAS**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Especialista em Engenharia de  
Segurança do Trabalho

**SÃO PAULO**

**2010**

à Ana Paula, que é a minha vida.

---

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é abordar os conceitos fundamentais da eletricidade estática como possível fonte de ignição de materiais inflamáveis. São apresentados os processos de geração de eletricidade estática, bem como as consequentes formas de descargas eletrostáticas que podem ocorrer. As condições para que um ambiente com presença de um material inflamável se torne uma atmosfera explosiva são descritas. Neste trabalho discorre-se sobre como classificar ambientes explosivos. Ao final são citados e descritos os documentos nacionais e internacionais relevantes ao controle de eletricidade estática em áreas classificadas.

**Palavras-chave:** Áreas classificadas, controle de eletricidade estática, descarga eletrostática, explosivo, material inflamável.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to address the fundamental concepts about static electricity as a possible source of ignition of flammable materials. Are presented the processes of generation of static electricity, as well as the consequent ways that electrostatic discharges may occur. The conditions for an environment with the presence of a flammable material to turn into an explosive atmosphere are described. This work talks about how to classify explosive environments. At last are cited and described the national and international documents relevant to the control of static electricity in classified areas.

**Keywords:** Classified areas, static electricity control, electrostatic discharge, explosive, flammable material.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo Atômico.....	11
Figura 2 - Contato dos materiais A e B.....	13
Figura 3 - Separação dos materiais A e B.....	13
Figura 4 - Atrito.....	15
Figura 5 - Geração Triboelétrica.....	16
Figura 6 - Linhas de força de uma esfera negativamente carregada.....	17
Figura 7 - Geração de Carga Eletrostática por Indução.....	19
Figura 8 - Exemplos de geração de cargas em líquidos.(a) carregamento por fluxo, e (b)carregamento por agitação e mistura.....	20
Figura 9 - Acumulação de cargas no corpo humano ao caminhar com calçados isolantes e em objetos sólidos durante atrito. ....	22
Figura 10 - (a) Descarga corona, (b) Descarga em penacho, e (c) Descarga por faísca.....	23
Figura 11 - Energias aproximadas de tipos de descargas eletrostáticas comparadas às energias mínimas de ignição. ....	23
Figura 12 - Descargas em penacho de abastecimento em cone.....	26
Figura 13 - Indução no corpo humano.....	27
Figura 14 - Geração de estática em carrinho condutor com rodas isolantes em piso isolante.....	27
Figura 15 - Combustível, Oxigênio e fonte de ignição.....	29
Figura 16 - Energia mínima de ignição do benzeno em função de concentração no ambiente.....	30
Figura 17 - Exemplo de classificação de área: tanque de teto fixo.....	32

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Relação parcial de incêndios e explosões em ambientes inflamáveis...	33
---	----

---

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CB	Comitê Brasileiro
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
EMI	Energia Mínima Ignição
ESD	Electrostatic Discharge
ESDA	Electrostatic Discharge Association
IEC	International Electrotechnical Commission
kV	Kilo Volt
LIE	Limite Inferior de Explosividade
LSE	Limite Superior de Explosividade
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira Registrada
NFPA	National Fire Protection Association
NR	Norma Regulamentadora

## LISTA DE SÍMBOLOS

C	Capacitância
J	Joule
q	Carga
S	Siemens
V	Tensão Elétrica ou Diferença de Potencial
W	Trabalho

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	8
1.2 OBJETIVO.....	9
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>11</b>
3.1 CONCEITOS DE ELETRICIDADE ESTÁTICA.....	11
3.1.1 Primeiros experimentos e a geração de eletricidade estática.....	11
3.1.2 Materiais condutivos e isolantes.....	15
3.1.3 Campo elétrico e a indução em condutores.....	17
3.1.4 Geração de estática em líquidos.....	20
3.2 CONCEITO DE DECAIMENTO E DESCARGAS ELETROSTÁTICAS.....	21
3.2.1 Descargas eletrostáticas.....	21
3.2.2 Faíscas entre condutores.....	25
3.2.3 Descargas em isolantes.....	25
3.2.4 Descargas induzidas.....	26

3.3 ATMOSFERA EXPLOSIVA E ÁREAS CLASSIFICADAS.....	28
<b>3.3.1 Definições.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.2 Materiais inflamáveis.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.3 Áreas classificadas.....</b>	<b>30</b>
3.4 DOCUMENTOS E PUBLICAÇÕES SOBRE ELETRICIDADE ESTÁTICA.....	33
<b>3.4.1 Incêndios, explosões e perdas em decorrência da eletricidade estática.....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.2 Documentos voltados ao controle de eletricidade estática.....</b>	<b>33</b>
3.4.2.1 Documentos internacionais .....	33
3.4.2.2 Documentos nacionais .....	34
<b>3.4.3 Documentos voltadas ao controle de eletricidade estática em outras areas.....</b>	<b>35</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>38</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Incêndios e explosões em ambientes com materiais inflamáveis e explosivos têm sido uma grande causa de perdas tanto materiais quanto humanas em todo o mundo. As consequências foram milhares de mortes e perda de centenas de milhões de dólares. Devido à evolução da humanidade e ao aumento da demanda por energia, o consumo de combustíveis e outros materiais inflamáveis e explosivos aumenta a cada dia. Junto com os benefícios destes materiais, há também os perigos de possíveis acidentes quando estes são usados, manipulados ou armazenados de forma inadequada. Estes acidentes podem ser iniciados por diversas fontes, dentre elas estão as descargas eletrostáticas. Apesar da eletricidade estática poder ser usada de forma muito útil em outros ramos de atividade, trata-se de um fenômeno indesejado nestes ambientes. A eletricidade estática é pouco estudada ou abordada, senão ignorada, devido à difícil detecção dos vestígios de onde ocorrem seus pontos de descarga. É fundamental a atenção para o assunto através da compreensão deste fenômeno e conhecimento dos materiais envolvidos, usando de bibliografias especializadas. Assim podemos praticar uma melhor abordagem da engenharia de segurança do trabalho para prevenção destes acidentes.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O tema chamou atenção, pois atualmente são verificados incêndios e explosões por reportagens e relatos em locais com presença de materiais inflamáveis e explosivos, como no armazenamento e abastecimento de combustíveis, em silos de grãos, no uso de solventes, em fabricas de explosivos, entre outros, sem explicação de como começaram. Muitas vezes responsabilizam o uso de celulares e outros equipamentos e instalações eletroeletrônicas pelos início destes acidentes. Percebeu-se no exterior a existência de muitas pesquisas, relatos, reportagens, normas e associações que atribuem muitos destes acidentes à eletricidade estática. A carência no país quanto a abordagem deste tópico motivou o estudo.

## 1.2 OBJETIVO

Pretende-se com este trabalho revisar os conceitos fundamentais sobre eletricidade estática, especificar as condições nas quais existem atmosferas explosivas, descrever como ocorrem descargas eletrostáticas, destacar quais delas podem ser fonte de ignição nestes ambientes, tudo com base em publicações existentes sobre o assunto.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Esta monografia foi realizada a partir da revisão bibliográfica relevante existente. Foram consultados livros, teses, artigos, normas, e documentos de origem nacional e estrangeira. Como foi notada uma grande carência em bibliografias nacionais, a maioria das fontes usadas são de origem estrangeira. Especial atenção foi dada às normas e documentos de associações, bem como aos livros especializados. Livros de física básica foram fundamentais para o levantamento conceitual. Foi incluída uma tese de autoria nacional, o que foi essencial para definição de termos em língua portuguesa. A Internet foi o canal mais usado na busca das bibliografias utilizadas e por meio desta foram adquiridas as teses, imagens, fotos, normas, documentos e livros para o estudo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 CONCEITOS DE ELETRICIDADE ESTÁTICA

##### 3.1.1 Primeiros experimentos e a geração de eletricidade estática

A ciência da eletricidade teve início com o conhecimento de Tales de Mileto no ano de 600 a.C., que relatou que ao atritar um pedaço de resina de árvore fossilizada de coloração amarela, chamado de âmbar (AURELIO, 2004), o mesmo conseguia depois atrair pequenos fragmentos de palha. A própria palavra "elektros" em grego significa âmbar, uma resina fossilizada de árvores pré-históricas. (HALLIDAY, 1984)

É importante ressaltar que todo material é constituído de átomos que contém um núcleo bem pequeno e composto de nêutrons e prótons que são circundados por elétrons. (CALLISTER, 1997) Os nêutrons são eletricamente neutros, ao passo que os prótons têm cargas elétricas positivas e os elétrons cargas elétricas negativas. Os átomos estão completos ou eletricamente neutros quando o número de elétrons é igual ao número de prótons. Os materiais e, conseqüentemente seus átomos tendem naturalmente a um estado balanceado, o que significa ter o mesmo número de elétrons e prótons. A figura a seguir detalha o modelo atômico e facilita a visualização de suas estruturas.

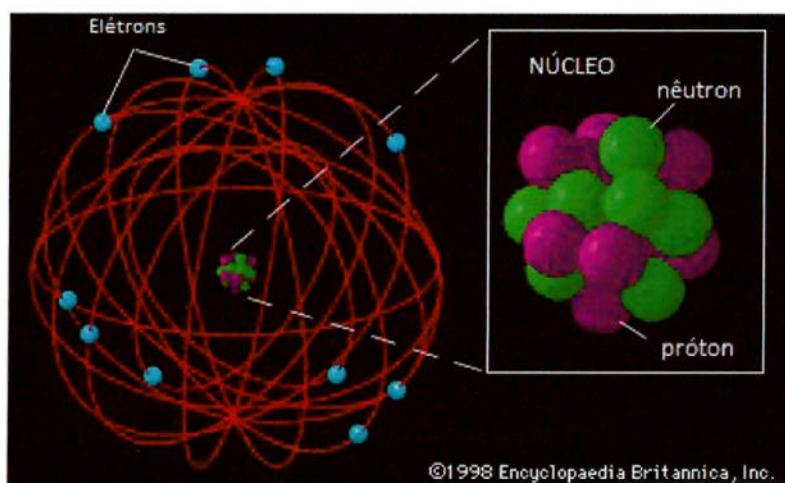


Figura 1: Modelo Atômico. (Britannica, 2010)

O físico norte-americano Benjamin Franklin (1706-1790), denominou de positiva a eletricidade que aparece no bastão de vidro e de negativa aquela que aparece no bastão de ebonite, uma borracha dura e preta (WEBSTER, 2010), ao serem atritadas separadamente a um mesmo material, nomenclaturas que permaneceram até os dias de hoje. (HALLIDAY, 1984)

É importante ressaltar que qualquer material que for atritado com outro, em condições adequadas, adquirirá certa carga elétrica, que poderá ser identificada como positiva ou negativa pela comparação com a carga produzida num bastão de vidro ou ebonite.

A eletricidade estática é comumente formada por contato e separação de dois materiais sendo estes materiais semelhantes ou não. Materiais não semelhantes tendem a formar níveis maiores de eletricidade estática quando atritados. Eventos do tipo (i) encostar e separar a sola do sapato no carpete ao andar; (ii) sentar e levantar da cadeira; (iii) fechar e abrir a capa de um caderno, são exemplos deste fenômeno, porém cada um gera magnitudes de eletricidade estática diferentes. O fenômeno de formar uma carga eletrostática por contato e separação é conhecido como "carregamento triboelétrico". A palavra "tribos" em grego significa esfregar. (ESDA, 2000)

No contato e separação de dois materiais há a transferência de elétrons entre eles. Se considerarmos o contato e separação entre o material A e B, podemos ver a seguir a transferência de elétrons entre os átomos de cada material, conforme detalha a figura 2 e 3. (ESDA, 2000)

## Carregamento Triboelétrico

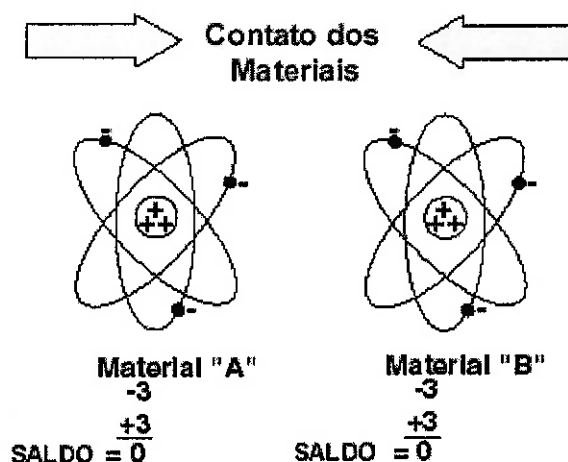


figura 2: Contato dos materiais A e B. (ESDA, 2000, p 6)

## Carregamento Triboelétrico

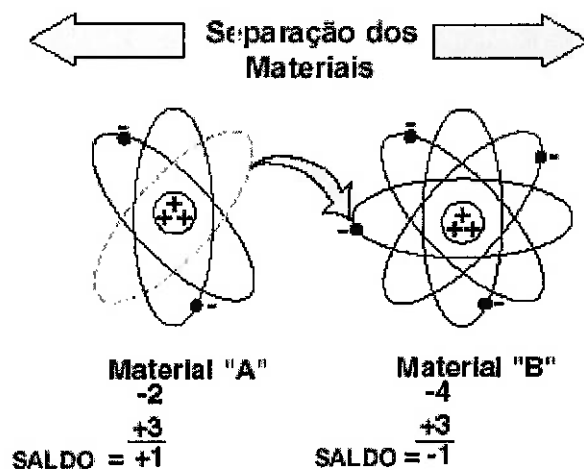


Figura 3: Separação dos materiais A e B. (ESDA, 2000, p 7)

Quando ocorre a aplicação de um trabalho mecânico, ou seja, força, pressão e movimento no contato e separação, há a liberação de eletricidade estática. No momento do contato de dois materiais, elétrons, cujas cargas elétricas são negativas, são transferidos da superfície de um material para a superfície do outro. Os elétrons são então levados pelo segundo material no momento da

separação. O material que perdeu elétrons se torna positivamente carregado, ao passo que o material que ganhou se torna negativamente carregado. Esta falta ou excesso de elétrons em um material é o que chamamos de carga elétrica, e se esta carga permanece parada no material, ela é chamada de eletricidade estática ou eletrostática. A eletricidade estática não é criada e sim "gerada" pela separação de elétrons que já estavam lá, de um lado para outro em função deste trabalho mecânico aplicado.

Esta carga elétrica pode ser expressa pela equação:

$$q = C \times V \text{ (ESDA, 2000)}$$

onde,

$q$  = carga elétrica medida em Coulombs. 1 Coulomb tem  $6.25 \times 10^{18}$  elétrons.

$C$  = capacitância medida em Farads.

$V$  = a diferença de potencial elétrica, ou tensão gerada pela carga elétrica em Volts.

A geração de eletricidade estática pode ser aumentada pelo fenômeno de fricção. Este movimento aumenta a pressão, causa aquecimento e pode ocorrer até a fusão e microfraturas localizadas aos múltiplos pontos de contato. O aumento de transferência de elétrons é possível nestas áreas. Fatores como: tipo de material atritado, intimidade de contato, velocidade, limpeza das superfícies, e outros fatores físicos e químicos influenciam na quantidade de carga elétrica gerada. (ESDA, 1995)

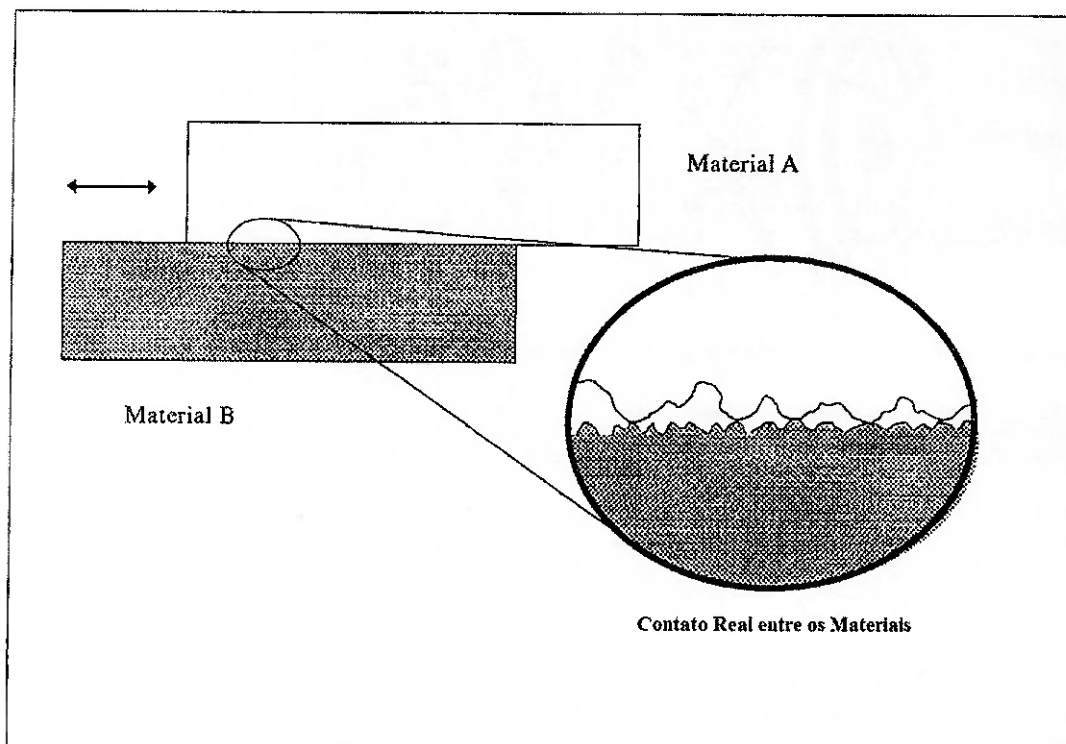


Figura 4: Atrito. (ESDA, 1995, p.13)

### 3.1.2 Materiais condutivos e isolantes

Todos os materiais podem ter geração de estática em sua superfície através do atrito. (ESDA, 2000) A quantidade de carga é gerada e para onde ela vai depende das características elétricas do material. Para entender sobre geração e dissipação de eletricidade estática é necessário entender sobre as características elétricas dos materiais.

Materiais isolantes retêm cargas elétricas quando são atritados, ou quando há simples contato e separação, pois nestes não há um caminho condutivo para redistribuir estas cargas. Já os materiais condutivos isolados, quando atritados, permitem que estas cargas geradas se distribuam em todo condutor. Quando um condutor carregado é aterrado, esta carga se dissipará, porém quando um isolante é aterrado, as cargas permanecerão na área de atrito mesmo quando aterrado. (ESDA, 1995) Segundo o glossário ESD ADV1.0-2003, editado pela ESDA, o termo aterramento significa "uma conexão condutiva, seja intencional ou acidental entre

um circuito elétrico ou equipamento e a terra, ou a outro corpo condutivo que sirva no lugar da terra". Veja na figura a seguir o detalhamento deste processo.

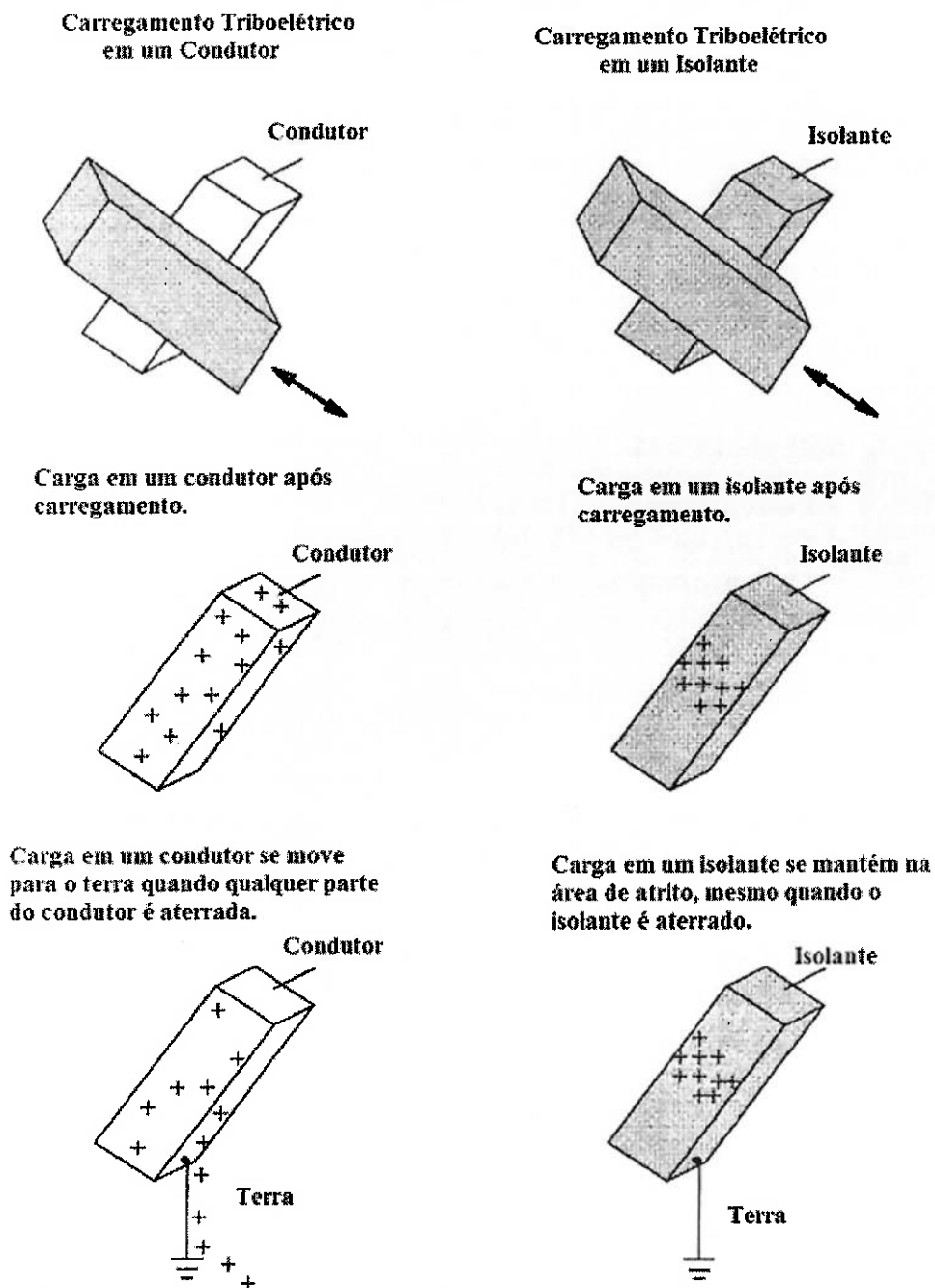


Figura 5: Geração Triboelétrica. (ESDA, 1995, p.12)

A umidade relativa do ar tem a capacidade de mudar a condutividade da superfície de muitos materiais. Acima de 65% de umidade relativa do ar, muitos materiais tem a capacidade de absorver umidade a ponto de conferir condutividade superficial suficiente para evitar acúmulo de eletricidade estática. Abaixo de 30% estes mesmos materiais se tornam isolantes, aumentando o acúmulo de eletricidade estática. (NFPA 77, 2007) Isto ocorre pois a eletricidade estática é um fenômeno principalmente de superfície.

Vale lembrar que mesmo com o aumento da condutividade destes materiais devido ao aumento da umidade relativa, eles somente terão sua eletricidade estática dissipada se houver um caminho condutivo ao terra. O aumento de umidade não é uma solução para toda presença de eletricidade estática. Alguns materiais isolantes, tais como determinados materiais poliméricos presentes na forma de mangueiras de transporte, filmes plásticos, e superfícies de líquidos feitos de hidrocarbonetos de petróleo, não absorvem umidade. Mesmo em ambientes de umidade relativa do ar alta, próximo a 100%, são capazes de acumular eletricidade estática.

### 3.1.3 Campo elétrico e a indução em condutores

Se um objeto tiver uma carga eletrostática em sua superfície, estará presente ao seu redor um campo eletrostático associado a linhas de força, veja a seguir. (HALLIDAY, 1984)

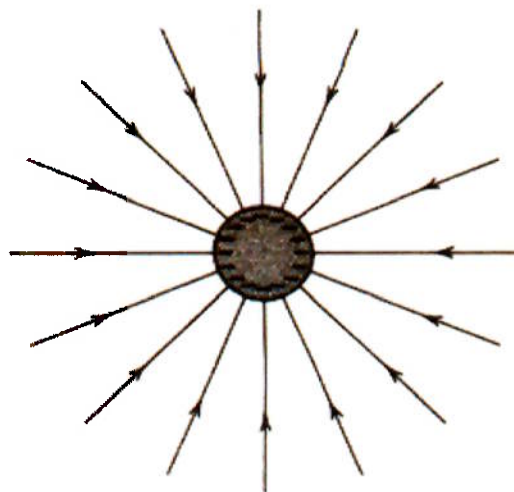
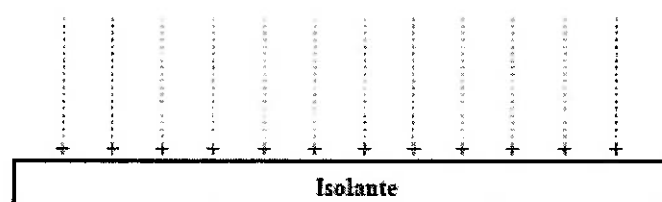
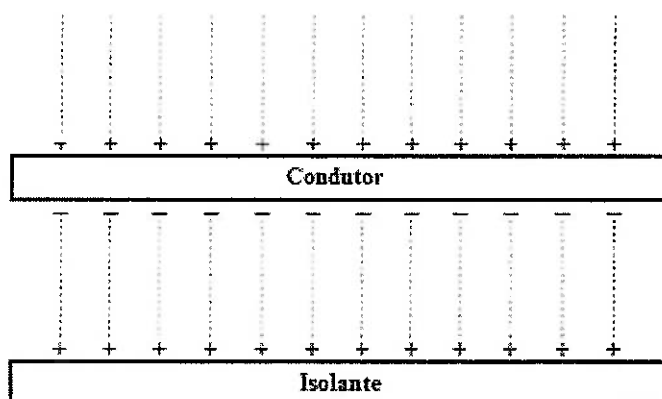


Figura 6- Linhas de força de uma esfera negativamente carregada. (HALLIDAY, 1984, p.20)

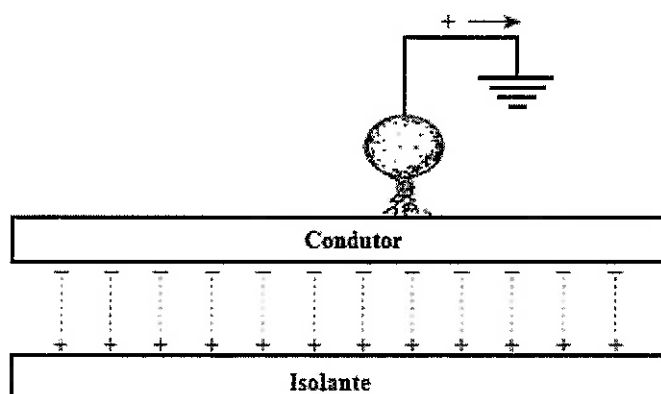
Objetos condutores ao serem trazidos para a vizinhança deste campo elétrico se tornarão polarizados pelo processo conhecido como indução. Um campo elétrico gerado por uma carga negativa irá repelir os elétrons da superfície de um objeto condutor que estiver exposta a este campo. Um campo elétrico gerado por uma carga positiva irá atrair os elétrons para a superfície de um objeto condutor que estiver mais próxima da carga, deixando outras áreas do objeto carregadas positivamente. A soma das cargas do objeto é nula e se este for afastado as cargas se redistribuirão eliminando a polarização. Mas se o objeto condutivo for conectado ao terra enquanto estiver polarizado, um fluxo de cargas ocorrerá para compensar este desbalanceamento. Ao retirar o contato ao terra e depois afastar o campo elétrico, teremos um excesso de carga que ficará presa a este material. Este processo é chamado de carregamento por indução. (PRATT, 2000) Veja a seguir.



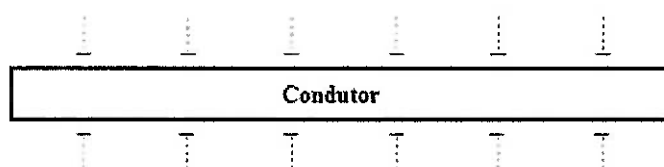
Isolante carregado e as linhas de força do campo elétrico.



Cargas induzidas no condutor.



Aterramento do Condutor.

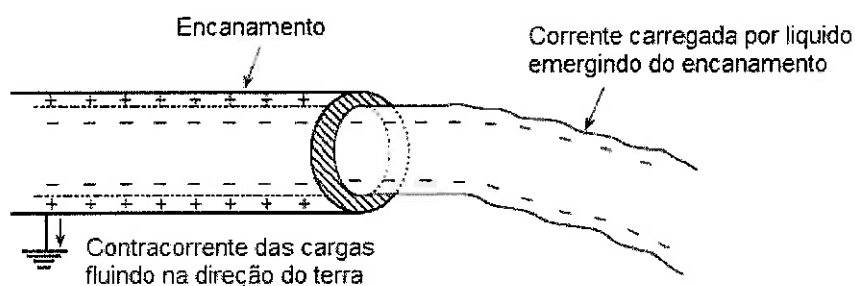


Carga isolada no condutor após retirada do aterramento e posterior retirada do isolante

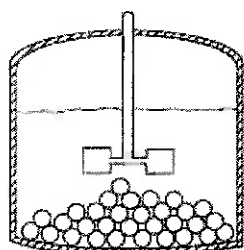
Figura 7: Geração de Carga Eletrostática por Indução. (NFPA, 2007, p.8)

### 3.1.4 Geração de estática em líquidos

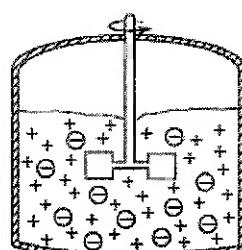
A separação de cargas ocorre em líquidos quando estes fluem por encanamentos, quando passam por filtros, quando jorram em operações de transferências, quando são atomizados em "spray" ou quando são misturados e agitados. Quanto maior a área de contato entre o líquido e outras superfícies, e quanto maior o fluxo, maior será a geração de cargas. Estas cargas são misturadas ao líquido e carregadas aos recipientes de destino, onde podem acumular. (NFPA, 2007)



(a) Carregamento em encanamento por fluxo



Sem agitação não há carga



Agitação; cargas no líquido e cargas opostas nos sólidos, mas não em quantidades iguais

(b) Agitação e Mistura

FIGURA 8: Exemplos de geração de cargas em líquidos.

(a) carregamento por fluxo, e (b) carregamento por agitação e mistura. (NFPA, 2007, p.20)

Líquidos condutivos, definidos como tendo condutividade superior a  $10^4 \text{ pS/m}$ , assumindo constante dielétrica 2, não apresentam risco em plantas químicas aterradas pois as cargas geradas são dissipadas por recombinação rápido o suficiente para não causar risco de ignição. (NFPA, 2007)

## 3.2 CONCEITO DE DECAIMENTO E DESCARGAS ELETROSTÁTICAS

### 3.2.1 Descargas Eletrostáticas

Experiências comuns como o som de pequenos estalos ao tirar uma roupa, e choques em objetos metálicos ao tocá-lo após caminhar em um carpete ou sair do carro, são exemplos de descargas de eletricidade estática. Estes eventos acontecem principalmente quando o ar atmosférico está seco, principalmente no inverno. Para a maioria das pessoas é apenas um incômodo, mas em indústrias onde materiais combustíveis são manuseados, isto pode causar incêndios e explosões. (NFPA, 2007)

Cargas eletrostáticas serão acumuladas em materiais se a velocidade de separação de cargas for maior que a de recombinação. Trabalho deve ser feito para ocorrer separação de cargas e há uma tendência destas cargas a voltar a um estado neutro. Podemos expressar o resultado deste processo de separação de cargas como uma tensão ou diferença de potencial entre dois pontos, que é o trabalho por unidade de carga para mover as cargas de um ponto a outro. (NFPA, 2007)

$$V = W/q \text{ (HALLIDAY, 1984, p.60)}$$

$V$  = tensão em Joule/Coulomb(J/C) ou Volt.

$W$  = trabalho em Joule(J)

$q$  = carga em Coulomb(C)

A geração e acumulação de cargas eletrostáticas não é em si algo agressivo a um ambiente explosivo ou inflamável. Deve haver uma descarga ou recombinação repentina para causar um evento perigoso. Este evento é chamado por JONASSEN (p.184) de *electrostatic discharge (ESD)* ou descarga eletrostática, "originalmente significando simplesmente qualquer descarga causada por uma coleção de cargas, seja em indústrias químicas, têxteis, ou outras."

A percepção humana de uma descarga eletrostática ao toque é da ordem de 4000V. (MICHAELS, 1999) Portanto, descargas eletrostáticas abaixo destas tensões, ocorrerão, mas dificilmente serão percebidas ao toque de uma pessoa.

Pessoas que estejam eletricamente isoladas do terra podem acumular cargas elétrica significantes, ao andar em uma superfície isolante, ao tocar objetos carregados, ao escovar superfícies ou ao tocar objetos aterrados na presença de campos eletrostáticos. Durante atividades normais, o potencial elétrico do corpo humano pode chegar a 10 kV a 15kV, e a energia de possíveis descargas podem chegar de 20mJ a 30mJ, capaz de iniciar incêndios e explosões (NFPA, 2007), Veja figura a seguir.

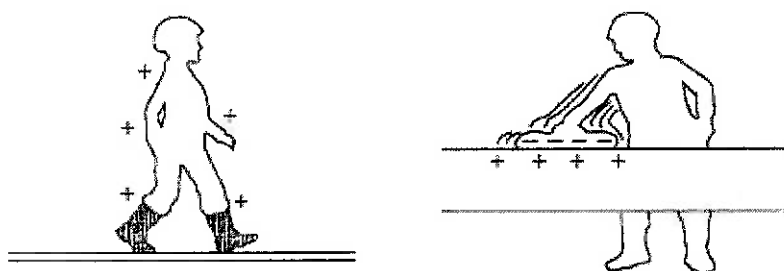


Figura 9: Acumulação de cargas no corpo humano ao caminhar com calçados isolantes e em objetos sólidos durante atrito. (NFPA, 2007, p.9)

As descargas eletrostáticas resultam da criação de um caminho condutivo entre dois pontos com grande diferença de potencial imersa em um meio, que geralmente é um gás, e freqüentemente atmosférico. (CALVERT, 2009) O andamento da descarga eletrostática resultante dependerá grandemente, entre outros fatores, da geometria de onde a descarga começa e da natureza do meio através do qual ela se desenvolve. (JONASSEN,1998) As descargas eletrostáticas podem ser divididas em descargas corona, descargas em penacho (*brush discharges*) e descargas em faísca. (SCHNEIDER, 2004)

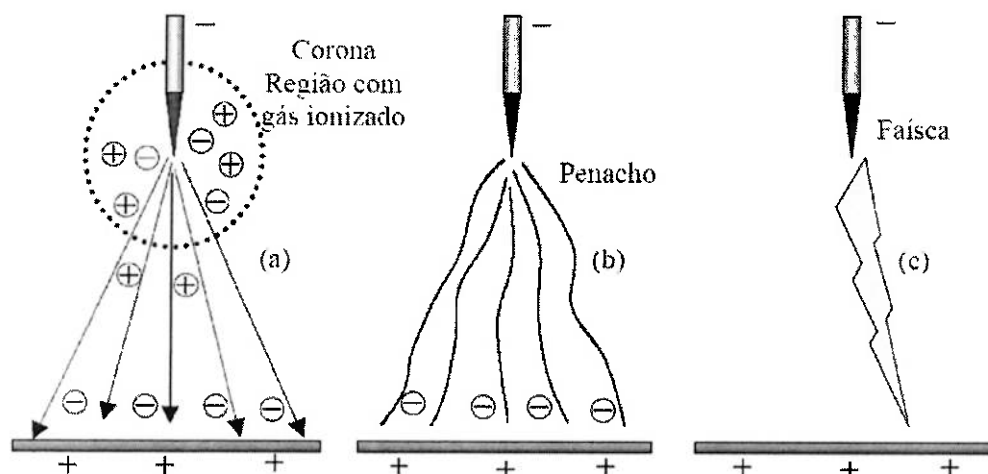


Figura 10: (a) Descarga corona, (b) Descarga em penacho, e (c) Descarga por Faísca. (SCHNEIDER, 2004, p. 106)

Muitos tipos diferentes de descargas eletrostáticas podem ocorrer, e podem ser fontes de ignição em ambientes com atmosfera ou mistura inflamáveis, se tiverem energia gerada suficiente neste evento para que estejam acima da energia mínima de ignição. (NFPA, 2007) Veja a seguir os tipos de descargas e a energia gerada.

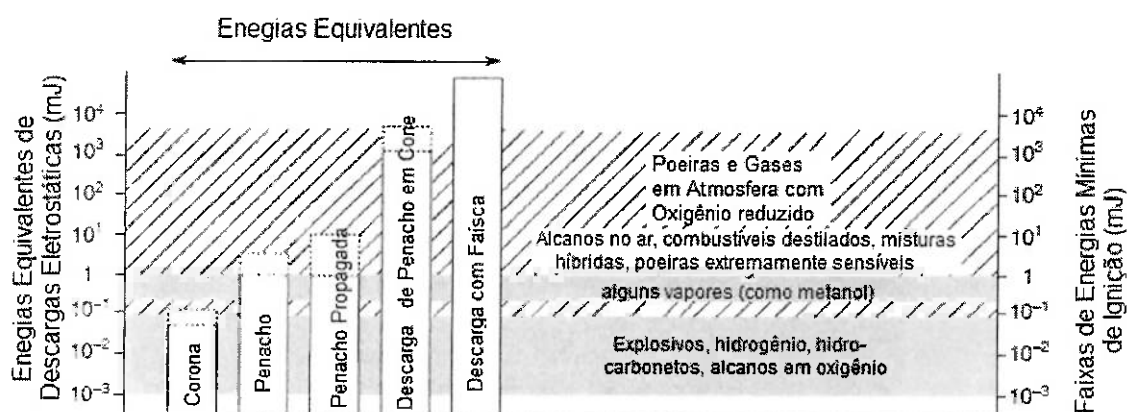


Figura 11: Energias aproximadas de tipos de descargas eletrostáticas comparadas às energias mínimas de ignição. (NFPA, 2007, p. 10)

A descarga corona, também chamada de descarga silenciosa ou eflúvios, se desenvolve em volta de eletrodos condutivos pontiagudos onde o potencial elétrico é suficientemente elevado, em torno de 2 a 20KV, ou em condutores pontiagudos próximos a superfícies carregadas. Esta região se estende por poucos milímetros da ponta do eletrodo, onde a intensidade de campo elétrico excede a de ruptura do meio. No escuro, pode ser vista esta região de gás ionizado na cor azulada. São formados íons positivos e negativos nesta região. Os íons de mesmo sinal que o eletrodo são atraídos e os de sinal igual serão repelidos formando uma corrente de condução iônica em direção a objetos vizinhos aterrados. Esta região de condução é chamada de corrente negra por não formar nenhum efeito luminoso. Esta descarga tem características de região bem limitada à região de ionização e de baixa densidade de energia, o que torna improvável de ignitar uma atmosfera explosiva.

Em regiões de descargas corona mais intensas, surgem correntes pré-ruptura chamadas de descarga em penacho. A descarga em penacho (*brush discharges*) que se origina em condutores pontiagudos com raio na ponta menor que 1mm, geralmente não acarretam ignição. Misturas de ar e gás ou vapores inflamáveis podem ser ignitadas por descargas em penacho que se originam em elementos pontiagudos com raios de curvatura maiores que 5mm, como por exemplo a ponta do dedo humano. (NFPA, 2007)

A descarga eletrostática mais conhecida entre dois condutores é a descarga por faísca. O processo de formação da faísca começa por onde o potencial elétrico de ruptura foi excedido, formando no meio, um canal de condução ionizado, cuja resistência elétrica é bem menor e a densidade de corrente elétrica é bem maior. (SCHNEIDER, 2004) A faísca irá dissipar a maior parte da eletricidade estática presente, produzindo uma dilatação do gás no caminho ionizado, gerando um ruído característico e uma luz que podem ser visíveis e audíveis, dependendo da intensidade. Como já mencionado anteriormente o ser humano só consegue perceber uma descarga eletrostática a partir de aproximadamente 4000V.

### 3.2.2 Faíscas entre condutores

As faíscas entre condutores isolados, incluindo o corpo humano, são responsáveis pela maioria de incêndios e explosões com ignição por eletricidade estática. A energia nestes eventos é altamente concentrada em espaço e tempo. Para causar ignição, a descarga eletrostática, normalmente uma faísca, deve ter energia igual ou maior à EMI (energia mínima de ignição) de uma determinada mistura inflamável. O corpo humano em atividades normais pode atingir 10kV a 15kV e gerar faíscas com energia entre 20mJ e 30mJ, bem acima dos EMIs de misturas de hidrocarbonetos e ar que tem EMI na faixa de 0,25mJ. (NFPA, 2007)

### 3.2.3 Descargas em isolantes

Descargas eletrostáticas podem ocorrer na superfície de objetos isolantes. Estas descargas serão corona ou em penacho. Foram estimadas energias de 1mJ para descargas em penacho, o que torna possível a ignição de algumas misturas inflamáveis vapor/ar, mas não misturas de poeiras no ar. (JONASSEN, 1998) Mas se a descarga for corona, qualquer ignição é improvável. (NFPA, 2007)

Durante processos de enchimento de silos com produtos em pó, grãos, e materiais granulados, tem sido observadas descargas de até 1 metro em comprimento. Estas descargas são chamadas de descargas em penacho de abastecimento em cone (*bulking brush cone discharges*) (NFPA, 2007) e podem atingir energia 25mJ, podendo ser responsáveis por explosões em silos. A figura a seguir procura demonstrar este fenômeno.

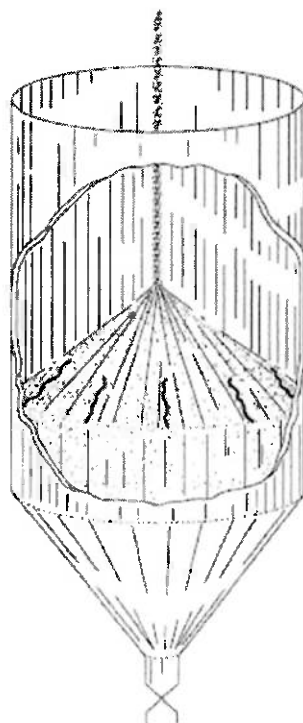


FIGURA 12: Descargas em penacho de abastecimento em cone. (NFPA, 2007, p.12)

### 3.2.4 Descargas induzidas

No item 1.1.3 pudemos ver o processo de como isolar uma carga em um condutor por indução. Inicialmente as cargas são geradas por contato e separação ou atrito, seja em rodinhas de carrinhos em movimento ou seja na sola do sapato em contato com o piso. Um corpo condutivo próximo, seja a estrutura metálica de um equipamento ou o corpo humano, fica polarizado. A sola do sapato retira elétrons do piso e gera um campo elétrico negativo repelindo elétrons do pé da pessoa, então a sola do pé fica polarizada positivamente enquanto o resto da pele do corpo fica polarizada negativamente. (KOLYER, 1996) A pessoa pode gerar uma descarga eletrostática ao encostar em um objeto condutivo, conforme detalha a figura a 13. O mesmo tipo de evento pode ocorrer em um carrinho com estrutura condutiva e muitos outros objetos e estruturas condutivas, tal como é demonstrado na figura 14.

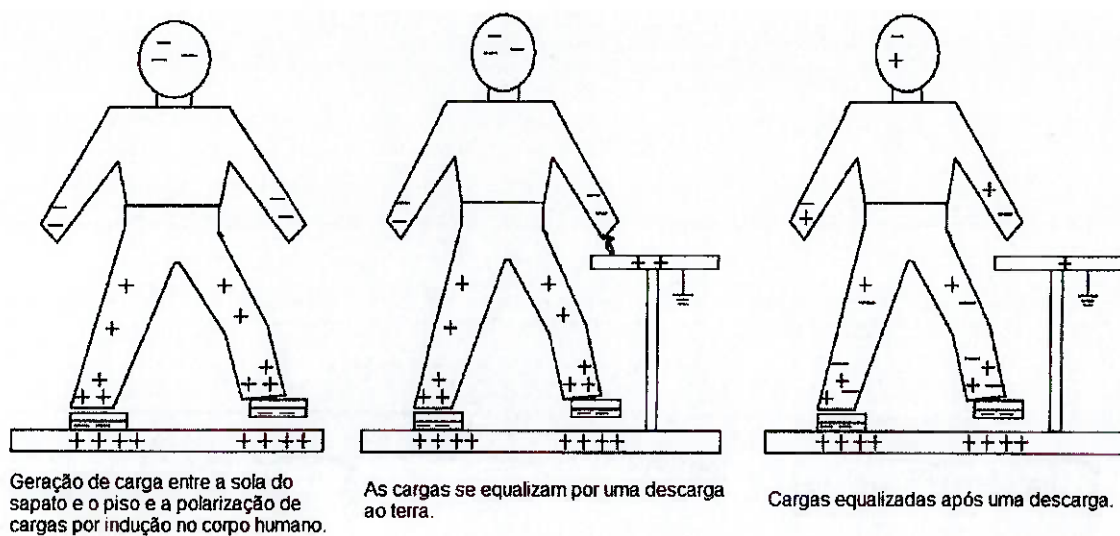
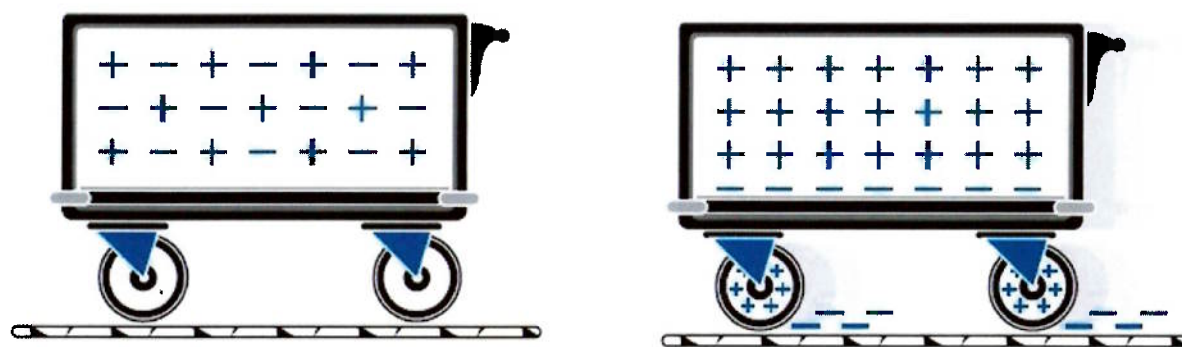


Figura 13: Indução no corpo humano. (ESDA, 1995, p.13)



(a) Carrinho com rodas isolantes em repouso em piso isolante e sem cargas.

(b) Carrinho com rodas isolantes em piso isolante após movimentação.

Figura 14: Geração de estática em carrinho condutor com rodas isolantes em piso isolante. (ESDA, 1995, p.13)

### 3.3 ATMOSFERA EXPLOSIVA E ÁREAS CLASSIFICADAS

#### 3.3.1 Definições

Sob condições atmosféricas, toda mistura de ar com substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou partículas suspensas, na qual, após a ignição, permite a auto-sustentação e propagação de chama é chamada de atmosfera explosiva.

Já área classificada é a área na qual uma atmosfera explosiva está presente ou é esperada estar presente em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos. As áreas podem também ser consideradas classificadas pela presença também de camadas sedimentadas de poeiras inflamáveis no ambiente. (ABNT, 2009)

#### 3.3.2 Materiais inflamáveis

Um material inflamável é um "material que é inflamável por si mesmo ou que é capaz de produzir um gás, vapor ou névoa inflamável". (ABNT, 2009, p.4) Inflamar significa "converter em chamas". (AURÉLIO, 2004, p.477) Alguns conceitos devem ser levantados para entender este fenômeno.

O ponto de ebulição é a temperatura na qual o líquido entra em ebulição à pressão ambiente, ou seja 1,013bar. (ABNT, 2009) O ponto de fulgor é a menor temperatura na qual, sob determinadas condições normalizadas, um líquido libera vapor em quantidade suficiente para ser capaz de formar uma mistura inflamável ar/vapor. (ABNT, 2009)

De acordo com a ABNT NBR IEC 60079-10-1:2009, as misturas de vapor ou gases com ar somente são inflamáveis dentro de certas concentrações, o limite inferior de explosividade (LIE) e o limite superior de explosividade (LSE). Fora destes limites a atmosfera explosiva não é formada. Abaixo do LIE a mistura é muito diluída para se inflamar e acima de LSE a mistura é muito rica.

De acordo com o Dicionário Aurélio p.477, ignição é "o estado de um corpo em combustão" e a combustão é "a ação de queimar".

Para que um incêndio ou explosão ocorra é necessário ao mesmo tempo um combustível, uma fonte de ignição e um comburente, sendo que este geralmente

é o oxigênio do ar. Este trio é conhecido como "triângulo de fogo". (ABPEx, 2009)  
Veja figura 15.

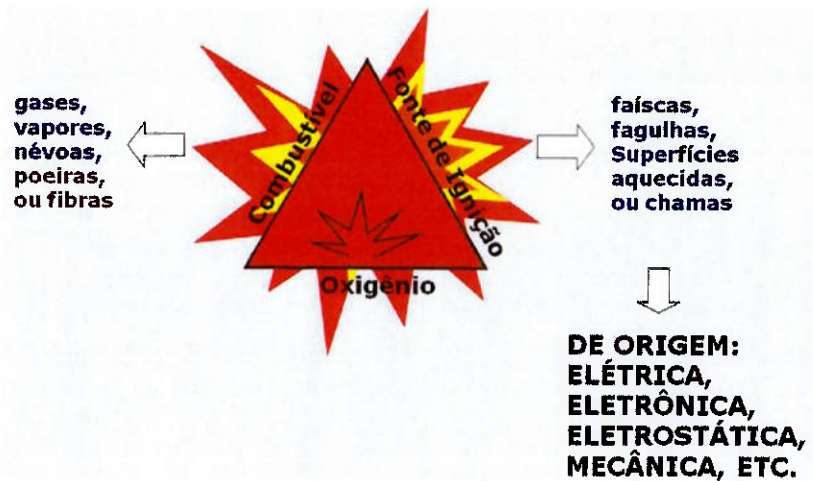


Figura15: Combustível, oxigênio e fonte de ignição. (ABPex, 2009, p.7)

As fontes de ignição podem ser faíscas, fagulhas, superfícies aquecidas ou chamas das mais variadas origens, como rede elétrica, circuitos eletrônicos, descargas eletrostáticas, elementos mecânicos, etc. (ABPex, 2007)

A energia necessária para uma destas fontes causar a ignição de uma mistura vapor ou gás inflamável e ar ou outro oxidante vai variar de acordo com a concentração da mistura. A energia necessária para ignição de uma mistura inflamável é chamada energia de ignição. Para a maioria dos materiais, existe uma energia mínima de ignição (EMI) que ocorre entre LIE e LSE, acima da qual ocorre ignição da mistura em determinadas concentrações, veja a figura 16. (NFPA , 2007)

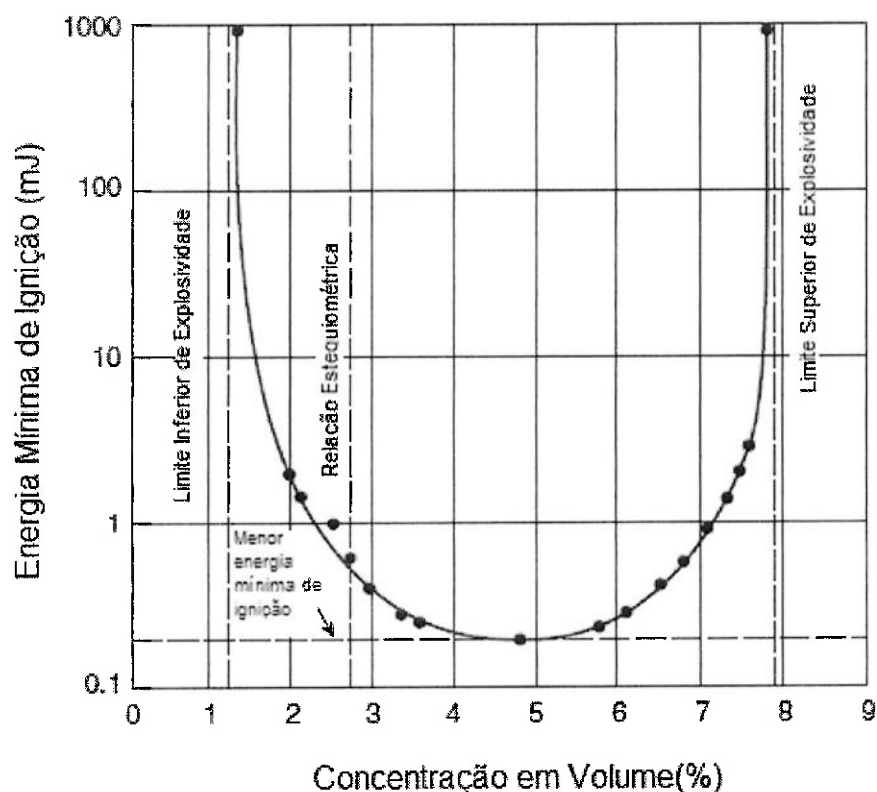


Figura 16: Energia mínima de ignição do benzeno em função de concentração no ambiente. (NFPA, 2007, p.20)

Sabe-se que incêndios e explosões ocorrem em misturas de vapor e gás inflamáveis, contudo em certas condições podem ocorrer também em nuvens de poeiras. Nos anos 1930, silos de grãos explodiam à razão de um por semana, no meio oeste dos Estados Unidos. A determinação de EMI para nuvens de poeiras é mais complexa, pois ao contrário de gases e vapores, a concentração de poeira no ambiente pode variar muito de um ponto ao outro, além de depender também do tamanho de partícula da poeira envolvida. As EMIs de nuvens de poeiras geralmente se situam de 10 a 100mJ, bem acima dos EMIs dos gases e vapores mais sensíveis. (JONASSEN, 1998)

### 3.3.3 Áreas classificadas

Áreas classificadas são todas as áreas sujeitas à probabilidade de existência ou formação de misturas explosivas pela presença de gases, vapores, poeiras ou fibras combustíveis misturadas com o ar, ou oxigênio. (ABPex, 2007)

Esta identificação e classificação dependerá do grau de probabilidade da existência ou aparição desta atmosfera explosiva no local da unidade.

Esta divisão é feita em zonas para gases e vapores, utilizando a norma NBR IEC 60079-10-1 da seguinte forma:

- Zona 0: Área na qual uma atmosfera explosiva está presente de modo permanente, por longos períodos ou freqüentemente, onde são geradas fontes de risco de grau contínuo.

- Zona 1: Área na qual uma atmosfera explosiva é provável de ocorrer de modo ocasional e em condições normais de operação, onde são geradas fontes de risco de grau primário.

- Zona 2: Área na qual uma atmosfera explosiva está presente somente em condições anormais de operação e persiste somente por curtos períodos de tempo, onde são geradas por fontes de risco de grau secundário.

Esta divisão é feita em zonas para poeiras e fibras, utilizando a norma IEC 60079-10-2 da seguinte forma:

- Zona 20: Área na qual uma atmosfera explosiva em forma de nuvem de poeira está presente de modo permanente, por longos períodos ou frequentemente, onde são geradas fontes de risco de grau contínuo.

- Zona 21: Área na qual uma atmosfera explosiva em forma de nuvem de poeira é provável de ocorrer de modo ocasional e em condições normais de operação, onde são geradas fontes de risco de grau primário.

- Zona 22: Área na qual uma atmosfera explosiva em forma de nuvem de poeira está presente somente em condições anormais de operação e persiste somente por curtos períodos de tempo, onde são geradas por fontes de risco de grau secundário.

Na figura 17, podemos ver um exemplo de um tanque de armazenamento de combustível que foi classificado. Podemos ver a região de zona 0, dentro do tanque, na qual a presença de atmosfera explosiva é constante. As regiões classificadas como zona 1 estão ao redor das válvulas de alívio que esporadicamente deixam vapor de combustível sair, evitando pressão interna excessiva. Já a região de zona 2 só se tornará uma atmosfera explosiva em condições anormais, como por exemplo se ocorrer um vazamento no tanque.

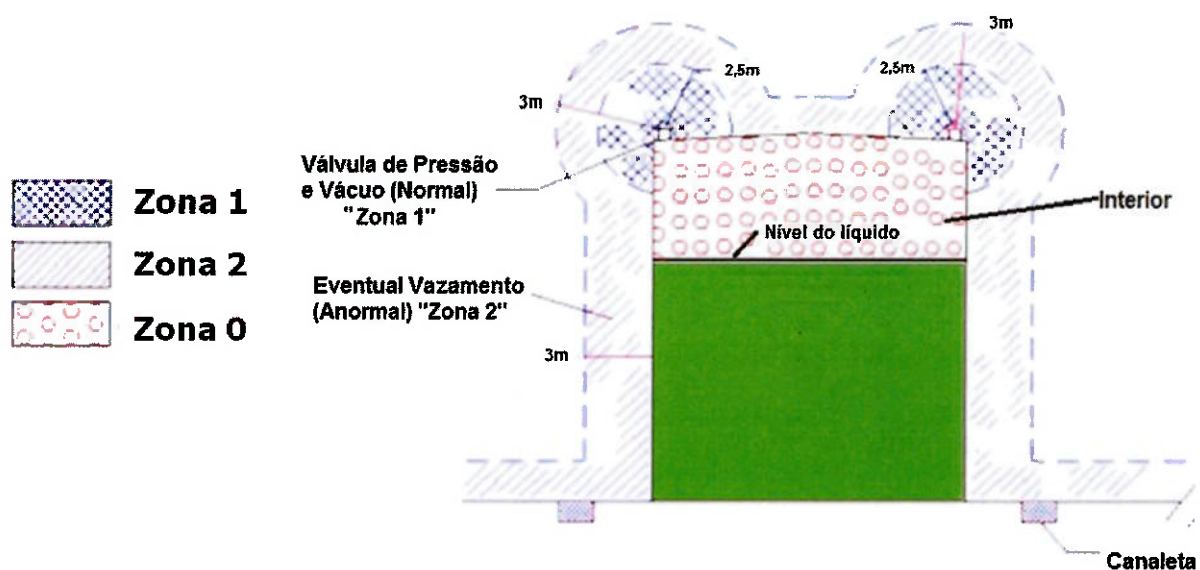


Figura 17: Exemplo de classificação de área: tanque de teto fixo. (ABPex, 2007, p.15)

As áreas com atmosferas explosivas estão presentes nos mais variados setores, incluindo: indústrias petroquímicas, químicas, farmacêuticas, agrícolas, postos de abastecimento de combustíveis, ambientes de uso de carvão, hospitais, galerias de fornecimento de água e gás, estações de tratamento de esgoto, distribuidores de GLP, entre muito outros setores. É fundamental o gerenciamento de risco de explosão destas áreas, não só classificando-as, mas também se necessário controlando a atmosfera, as fontes de ignição. O gerenciamento deve ter em mente que se o pior como uma explosão acontecer, é necessário mitigar os danos.

### 3.4 DOCUMENTOS E PUBLICAÇÕES SOBRE ELETRICIDADE ESTÁTICA

#### 3.4.1 Incêndios, explosões e perdas em decorrência da eletricidade estática

Incêndios e explosões em locais onde há presença de atmosferas explosivas são fontes de grandes perdas humanas e materiais. Podemos ver a seguir alguns exemplos de perdas em explosões devido a ignição de atmosferas explosivas. (NFPA, 2010)

ANO	LOCAL	ATIVIDADE	MORTOS	PERDAS MATERIAIS
1913	Dawson (MN)EUA	Mina de Carvão - Stag Canyon	263	-
1951	West Frankfort (IL) EUA	Mina de Carvão - Orient	119	-
1980	Danaciobasi, Turkia	Gás Domiciliar	105	-
1984	Cidade do Mexico	Armazenamento de Gás	334	-
1987	Pampa (TX) EUA	Incêndio Químico - Hoechst	-	US\$ 348 milhões
1989	Pasadena (TX) EUA	Incêndio em Petrolífera - Philips	-	US\$ 1,1 bilhão

Tabela1: Relação parcial de incêndios e explosões em ambientes inflamáveis. (NFPA, 2010)

Em função destas grandes perdas materiais e humanas surgiram documentos, entre normas e outras publicações, para o controle destes riscos, principalmente direcionados à classificação de áreas e o uso de equipamentos elétricos nestes ambientes. Devido ao fato de ser difícil comprovar que muitos destes acidentes foram causados por eletricidade estática, o controle de estática é brevemente ou resumidamente mencionado em normas, sendo mais detalhado em códigos e práticas.

#### 3.4.2 Documentos voltados ao controle de eletricidade estática

##### 3.4.2.1 Documentos Internacionais

Existe uma carência grande no Brasil e em muitas países do mundo em documentação e normatização referente à eletricidade estática, mas em alguns países já existem documentos mais aprofundados sobre o assunto. Vejamos a seguir os documentos encontrados na pesquisa para este trabalho e uma breve descrição deles. Não estão incluídos todos os possíveis documentos que

mencionam o controle de estática, porém os mais importantes encontrados nesta pesquisa.

A Prática Recomendada em Eletricidade Estática - NFPA 77 edição 2007, foi publicada pela Associação Nacional de Proteção ao Fogo, americana. É o documento mais didático, ilustrativo e fundamentado em publicações científicas entre todos encontrados. É muito indicado em outros documentos.

Eletrostática - Código e Prática para Evitar Perigos devido a Eletricidade Estática - PD CLC/TR 50404:2003. Foi publicado pela CENELEC - Comitê Europeu para a Standardização Eletrotécnica. É uma obra bem completa mas sem figuras e sem a ordem didática da NFPA 77.

A série de normas IEC 60079 foram publicadas pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) na Europa, sendo sua última versão em 2009. São normas mundialmente conhecidas e voltadas para classificação de áreas e a instalação equipamentos elétricos nestas áreas. A norma IEC 60079-0 desta série menciona o cuidado com a presença de estática apenas em partes de equipamentos elétricos e brevemente em outros materiais. No Brasil a ABNT através de seu Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) elaborou a série de normas ABNT NBR 60079 baseadas nas originais da IEC.

#### 3.4.2.2 Documentos Nacionais

Algumas normas do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) mencionam brevemente a necessidade de cuidados com eletricidade estática.

A Norma Regulamentadora NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços de Eletricidade exige brevemente o controle de estática em processos e equipamentos contra incêndios e explosões.

A Norma Regulamentadora NR 31 - Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura exige simplesmente evitar o acúmulo de poeira em pontos onde seja possível a geração de centelhas por estática.

A Norma Regulamentadora NR 33 - Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados exige adoção de medidas para eliminar ou controlar os riscos de eletricidade estática, entre outros, que possam afetar a segurança e saúde dos trabalhadores.

A norma Armazenamento de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis NBR 17505:2006 da ABNT, determina o controle de fontes de ignição, e a eletricidade de estática como uma delas. Exige que todos equipamentos imóveis como tubulações, tanques, e maquinarias devem ser projetados e operados de forma a prevenir ignições eletrostáticas, além de todos equipamentos metálicos deverem estar aterrados.

A publicação Instruções Gerais para Instalações em Atmosferas Explosivas foi feita pela Petrobrás em 2002 tem uma abordagem bem ampla e ilustrativa. É principalmente uma abordagem prática de como tratar a presença de estática.

### **3.4.3 Documentos voltados ao controle de eletricidade estática em outras áreas**

A indústria eletrônica atualmente é o setor mais afetado quanto a possíveis perdas materiais devido a eletricidade estática, podendo chegar a mais de 90% de uma linha de produção de um fabricante. (ESDA, 2001) Por isto o controle de estática neste setor é tão desenvolvido.

A Norma para o Desenvolvimento de um Programa de Controle de Descargas Eletrostáticas - ANSI/ESD S20.20-2007 foi publicada pela Associação de Descargas Eletrostáticas (ESDA) fundada em 1982, que se dedica a desenvolver a teoria e prática para prevenção contra descargas eletrostáticas (ESD). É a norma mais difundida e conhecida nesta área em todo o mundo.

A Reportagem Técnica - Eletrostática: Proteção de Componentes Eletrônicos do Fenômeno Eletrostático- Requerimentos Gerais - CEI IEC 61340-5-1 e a Especificação Técnica - Proteção de Componentes Eletrônicos do Fenômeno Eletrostático - Guia do Usuário - CEI IEC 61340-5-2 : 1998 foram publicadas pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) na Europa. São muito usadas por empresas Européias no próprio continente e em outros países.

As normas Requisitos Básicos para Proteção de Componentes Sensíveis às Descargas Eletrostáticas - NBR14544:2000, Descargas Eletrostáticas-Terminologia - NBR 14163:1998 e Símbolos Gráficos Utilizados no Controle de Descargas Eletrostáticas NBR 14164:1998 foram elaboradas pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) e publicadas pela ABNT. Sua importância se deve ao

fato de serem as principais normas no Brasil neste segmento e um dos poucos documentos em língua portuguesa neste setor.

## CONCLUSÃO

Podemos ver os inúmeros detalhes e formas de geração que leva à presença de eletricidade em qualquer ambiente. Ela está presente e sempre estará ocorrendo em todos os ambientes a todos os momentos variando em intensidade dependendo das condições. Sabendo que as descargas eletrostáticas geradas podem ser uma fonte de ignição de atmosferas inflamáveis cabe a todos, não somente classificar as áreas explosivas e se preocupar com a instalação elétrica, mas também se controlar a presença de eletricidade estática, para que este fenômeno geralmente sutil não cause tantas perdas materiais e humanas em indústrias químicas, petroquímicas, silos, plataformas, navios, e em outros muitos locais quando os incêndios e explosões ocorrem. Para isto é importante, não somente usar as normas e documentos brasileiros, mas buscar onde for necessário as fontes do conhecimento para ter o melhor e mais consciente controle de estática possível.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, Descargas Eletrostáticas - Terminologia NBR 14163:1998, Rio de Janeiro, 1998.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR IEC 60079-10-1:2009 Atmosferas Explosivas Parte 10-1: Classificação de Áreas - Atmosferas Explosivas de Gás, Rio de Janeiro, 2009.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, Símbolos Gráficos Utilizados no Controle de Descargas Eletrostáticas NBR 14164:1998, Rio de Janeiro, 1998.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, Armazenamento de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis NBR 17505:2006, São Paulo, 2006.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, Requisitos básicos para proteção de componentes sensíveis a descargas eletrostáticas NBR14544:2000, Rio de Janeiro, 2000.

ABPex Associação Brasileira para Prevenção de Explosões, Apostila de Apoio ao Curso: Capacitação Básica em Áreas Classificadas, São Paulo, 2009.

ABPex Associação Brasileira para Prevenção de Explosões, Pequeno Manual Prático de Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas, 3. ed. São Paulo, 2007.

AURÉLIO Buarque de Holanda Ferreira, Dicionário da Língua Portuguesa, 6. ed. Posigraf Positivo, Curitiba, 2004

BRITANICA ENCYCLOPEDIA, Atomic Model, acessado em <http://www.britannica.com/EBchecked/topic-art/41549/18103/Shell-atomic-model-In-the-shell-atomic-model-electrons-occupy>, fevereiro de 2010.

CALLISTER, William D. Jr., Materials Science and Engineering an Introduction, 4.ed. John Wiley & Sons Inc., New York, 1997.

CALVERT, J.B., Electrical Discharges, ed. University of Denver , 2009, Material de apoio de aulas, baixado [www.du.edu/~jcalvert/phys/dischg.htm](http://www.du.edu/~jcalvert/phys/dischg.htm), em abril 2010.

CENELEC, European Committee for Electrotechnical Standardization, Technical Report PD CLC/TR 50404:2003 Electrostatics-Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity, Reino Unido, 2003.

ESDA, Electrostatic Discharge Association, Standard for the Development of an Electrostatic Discharge Control Program for – Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices) ANSI/ESD S20.20-2007, Rome, NY, 2007.

ESDA, Electrostatic Discharge Association, ADV11.2-1995 Advisory for the protection of Electrostatic Discharge Sensitive Items - Triboelectric Charge Accumulation Testing, Rome, NY, 1995.

ESDA, Electrostatic Discharge Association, ESD TR20.20-2000 Handbook for the Development of an Electrostatic Discharge Control Program for the Protection of Electronic Parts, Assemblies, and Equipment , Rome, NY, 2000.

ESDA, Electrostatic Discharge Association, Advisory for Electrostatic Discharge Terminology - Glossary - ESD ADV1.0-2003, Rome, NY, 2003.

ESDA, Electrostatic Discharge Association, Fundamentals of Electrostatic Discharge- Part One - An Introduction to ESD, Rome, NY, 2001.

HALLIDAY, D.; RESNIK, R. Física 3, 4. ed. LTC Editora, Rio de Janeiro, 1984.

IEC International Electrotechnical Commission, IEC 60079-10-2:2009 Explosive Atmospheres - Part 10-2: Classification of Areas-Combustible Dust Atmosphere, Geneva, 2009.

IEC International Electrotechnical Commission, Electrostatics - Protection for electronic devices from electrostatic phenomena - General Requirements CEI IEC 61340-5-1, Geneva, 1998.

IEC International Electrotechnical Commission, Electrostatics - Protection for electronic devices from electrostatic phenomena - User Guide CEI IEC 61340-5-2, Geneva, 1999.

JONASSEN, Niels, Electrostatics, ed. Chapman & Hall, New York, 1998.

KOLYER, John M.; WATSON, Donald E.. ESD From A to Z, 2. ed. Chapman & Hall, New York, 1996.

MERRIAM-WEBSTER DICTIONAR, acessado em <http://www.merriam-webster.com/dictionary/ebonite>, maio de 2010.

MICHAELS, Ken, Discharge: Causes, Effects, and Solutions, Bell South Corp., 1999, acessado em janeiro de 2010, disponível em:[http://ecmweb.com/mag/electric\\_electrostatic\\_discharge\\_causes/](http://ecmweb.com/mag/electric_electrostatic_discharge_causes/)

MTE Ministério do Trabalho e Emprego, Norma Regulamentadora NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços de Eletricidade, Brasília, 2004.

MTE Ministério do Trabalho e Emprego, Norma Regulamentadora NR 31 - Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura, Brasília, 2005.

MTE Ministério do Trabalho e Emprego, Norma Regulamentadora NR 33 - Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados, Brasília, 2006.

NFPA, National Fire Protection Association. NFPA 77 Recommended Practice on Static Electricity, Quincy, 2007.

NFPA, National Fire Protection Association. Key Dates in Fire History, acessado em <http://www.nfpa.org/itemDetail.asp?categoryID=1352&itemID=30955&URL=Research/Fire%20statistics/Key%20dates%20in%20fire%20history>, fevereiro de 2010

PRATT, Thomas H., *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, ed. American Institute of Chemical Engineers, New York, 2000.

SCHNEIDER Jr, Bertoldo, *Estudo Teórico-Prático de Parâmetros Técnicos e Fisiológicos Utilizados em Eletrocirurgia, Visando a Otimização do Desenvolvimento e Performance de um Bisturi Eletrônico*, Tese de Doutorado no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2004.

SUZUKI, Hélio Kanji; OLIVEIRA, Roberto Gomes de, *Instruções Gerais para Instalações em Atmosferas Explosivas*, 2. ed. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 2002.