

ISSN 0100-2104

**EM**

***ELETRICIDADE  
MODERNA***

ARANDA EDITORA ANO 41 Nº 467 FEVEREIRO 2013

**OS AVANÇOS E AS TENDÊNCIAS DA TECNOLOGIA ELETROELETRÔNICA**

# Proteção de trabalhadores contra raios em refinarias de petróleo

Nas obras de refinarias de petróleo, uma das metas é garantir a segurança dos trabalhadores contra descargas atmosféricas diretas e indiretas. A partir de análises de riscos, este artigo indica locais onde o trabalho dos operários deve ser interrompido em caso de tempestades e outros onde a probabilidade deles serem atingidos diretamente pelos raios é muito baixa. Além disso, propõe medidas de proteção para que o risco de perda de vidas atenda os limites das normas.

Hélio Eiji Sueta, Geraldo Francisco Burani, Milton Shigihara e Luís Eduardo Caires, do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP; e Wallace José D. Nascimento, da Petrobras

No Brasil, são registradas em média 100 mortes por ano devido às descargas atmosféricas diretas [5]. No entanto, estudos mais recentes indicam que esse número pode ser maior, por volta de 130 mortes por ano [6]. Geralmente, as mortes acontecem em campos abertos. Já nas obras de refinarias de petróleo, onde a maior parte do trabalho é realizado sob enormes estruturas metálicas aterradas, a probabilidade de os trabalhadores serem atingidos diretamente por descargas atmosféricas é pequena. Apesar disso, as empresas que operam na construção dessas refinarias são submetidas a normas e procedimentos de segurança bastante rigorosos, muitas vezes com exigência superior à necessária.

## Objetivo

Este artigo visa apresentar uma análise de

risco para perda de vida humana baseada nas normas nacionais e internacionais e definir volumes de proteção dentro dos

limites descritos pelas normas contra os riscos diretos e indiretos das descargas atmosféricas para os trabalhadores. Ou-

CUT Group



tro objetivo é definir procedimentos e recomendações para segurança dos trabalhadores nessas condições adversas.

Nas obras das refinarias de petróleo, os trabalhadores são retirados das áreas abertas sempre que os sistemas de detecção indicam risco de descargas atmosféricas. Isso acarreta aumento do custo e do prazo de execução da obra. Este estudo propõe a otimização desse procedimento, haja vista que muitas vezes o alarme não corresponde a um iminente risco de descargas atmosféricas e pelo fato de ser possível continuar o trabalho em muitos pontos das obras mesmo em condições favoráveis à ocorrência de raios.

Os alarmes são acionados quando alguma rede de detecção indica a probabilidade de descargas atmosféricas nas proximidades da obra. Em algumas construções, são contratadas mais de uma empresa para realizar esse serviço, pois os resultados podem ser diferentes, uma vez que elas utilizam critérios diferentes nas suas análises.

Muitas vezes, quando o alarme é dado, o trabalho é interrompido em toda a obra, mesmo dentro de edificações totalmente fechadas e com sistemas de proteção contra descargas atmosféricas adequados e instalados. Este estudo identifica alguns desses pontos, onde o trabalhador pode continuar a trabalhar pois o risco de perda de vida está dentro dos limites indicados na norma internacional IEC 62305-2/2006 [3].

Além disto, é feita uma análise, de forma criteriosa, de cada tipo de estrutura que compõe a obra da refinaria, a fim de verificar os pontos mais vulneráveis às descargas diretas, como áreas abertas fora dos volumes de proteção e partes expostas, como coberturas, andaimes, partes altas de *pipe-racks*, etc. Desta forma, os procedimentos de segurança utilizados podem ser modificados para otimizar o trabalho nessas construções.

### Metodologia para análise de risco

A metodologia utilizada baseia-se inicialmente em um estudo aprofundado das normas técnicas — em particular a norma brasileira ABNT NBR 5419/2005 [4], referente à proteção de estruturas contra as descargas atmosféricas,

e a internacional IEC 62305 partes 1, 2, 3 e 4. Este trabalho é continuação de um anterior que analisou obras da Petrobras em diversas regiões do Brasil [7, 8]. Atualmente, estão sendo construídas muitas refinarias em locais cujas densidades de descargas atmosféricas variam de 4 até mais de 12 raios/km<sup>2</sup>/ano.

Foi utilizado um programa computacional desenvolvido especialmente para esse estudo, baseado na versão 2006 da IEC 62305-2, que foca o risco de perda de vida humana devido às descargas atmosféricas diretas [9].

Em uma primeira etapa, o estudo focou somente as descargas diretas aos trabalhadores e desconsiderou alguns parâmetros indicados na norma IEC 62305-2. Desta forma, houve redução dos dados de entrada e saída no programa utilizado.

Através de desenhos em plantas e em corte, também foram apresentados os volumes protegidos de cada *site* sob estudo. Para tanto, foram analisadas diversas plantas, maquetes e fotos de estruturas, e realizadas visitas às obras, além de reuniões para definição do material necessário para o estudo. Assim, foi possível detalhar a área de exposição equivalente para cada estrutura, dado essencial para a análise de risco.

O cálculo das áreas de exposição de cada estrutura levou em conta as partes mais altas, principalmente as torres e tanques, algumas com 100 metros de altura. Outro parâmetro estudado foi a localização da estrutura. Em um primeiro momento, na simulação dos diversos *sites* estudados foram utilizados parâmetros referentes à estrutura como “rodeado por outras estruturas menores ou de igual tamanho”. Para verificar uma condição mais crítica, também foi realizada a simulação da estrutura como “isolada”.

Outro parâmetro importante é o tipo de SPDA - Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas considerado (em inglês, LPS - *Lightning Protection System*). Na maioria das simulações, iniciou-se com a condição “sem LPS” para depois verificar o tipo de proteção necessário para manter os riscos em níveis toleráveis. O mesmo procedimento foi realizado em relação ao “nível de proteção contra descargas para o qual o DPS - Dispositivo de Proteção contra Surtos foi projetado”.

Em relação ao tipo de solo e tipo de estrutura, foram considerados, respectivamente, “agrícola, concreto” e “industrial”, por representarem melhor a condição de obra. Já em relação ao risco de incêndio, as simulações foram iniciadas com uma condição “normal”, pois, como se trata de uma obra, não há ainda nenhum tipo de combustível ou gás nas tubulações e equipamentos. Porém, por se tratar de uma refinaria, também foram feitas algumas simulações considerando risco “alto”. As simulações contemplaram pessoas somente dentro como também fora das estruturas.

Em relação ao “perigo especial”, em algumas simulações considerou-se “sem perigo especial”. Porém, na maioria delas, utilizou-se “nível médio de pânico”, em função do número elevado de trabalhadores estimado nos locais.

Inicialmente não foi considerado nenhum tipo de proteção contra choque em função de tensões de toque e passo. Outras simulações contemplaram a existência de uma equipotencialização efetiva do solo, levando em conta que há uma malha de aterramento adequadamente interligada às estruturas metálicas em todas as estruturas. Em alguns casos, considerou-se também a existência de cartazes informativos.

Nos casos iniciais, não foram previstas medidas para prevenção de incêndios. Quando necessário, foi considerada a existência de extintores e hidrantes. Em alguns locais mais críticos, levou-se em conta a existência de “instalação com alarme automático”.

Várias simulações foram realizadas para cada *site* estudado, permitindo a análise de cada um deles e a definição do tipo de medida necessária para manter os riscos envolvidos dentro dos valores toleráveis indicados na norma IEC 62305-2. No caso de “perda de vida humana ou danos permanentes”, o valor típico de risco tolerável é 10<sup>-5</sup>.

O detalhamento dos volumes de proteção foi definido por meio do método eletrogeométrico para cada estrutura. Para cada *site*, foram demarcadas nas plantas fornecidas as áreas cobertas por um nível de proteção I (que é o mais crítico e, conseqüentemente, necessita de melhor proteção). Essas “áreas” correspondem à base de um volume (que pode ser um cone ou um volume em forma de

## DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

cubo com as arestas arredondadas), considerando um objeto com 3 metros de altura na sua periferia, que representa um trabalhador em pé (valor acrescido de uma margem de segurança). Ou seja: foram descontados do volume de proteção real, de acordo com o método, uma faixa em toda a periferia da área da base do volume, possibilitando que um trabalhador localizado na periferia dessa nova área esteja ainda dentro do volume de proteção real.

O nível de proteção I prevê distância R (que corresponde à distância entre o ponto de partida do líder ascendente e a extremidade do líder descendente) igual a 20 metros.

A partir dos resultados obtidos no programa e da análise do método eletrogeométrico, foram feitas recomendações para proteção e indicação de possíveis áreas com riscos inferiores aos limites da norma, incluindo áreas ao redor das estruturas protegidas contra descargas diretas e também a indicação de locais dentro das estruturas protegidos pelas próprias estruturas.

### Resultados

A figura 1 mostra uma tela do programa com uma das simulações realizadas. A cor vermelha no resultado de R1 mostra que o valor do risco está acima do tolerável. Já a cor verde indica valores dentro do nível tolerável.

O estudo foi baseado em dados estatísticos e simulações computacionais que

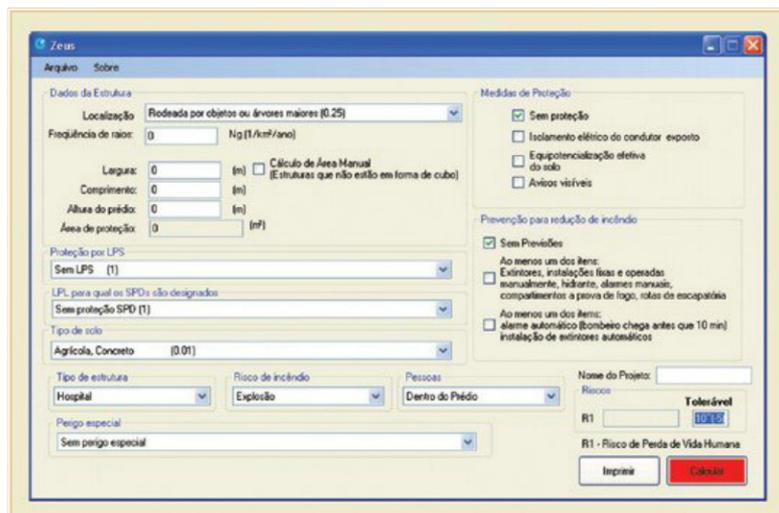


Fig. 1 – Tela do programa utilizado

possuem imprecisões e condições específicas sem quantificação normalizada, o que torna a afirmação de não existir proteção 100% eficiente ainda mais real. Desta forma, não é possível afirmar com toda certeza que existam locais totalmente protegidos contra as descargas atmosféricas em obras de refinarias e também na maioria das estruturas existentes no mundo. Os resultados apresentados a seguir referem-se a valores aproximados obtidos através das premissas adotadas e apontam os locais onde as possibilidades de efeitos das descargas atmosféricas são menores, dentro das condições adotadas para o estudo.

Com base na análise dos volumes de

proteção definidos pelo método eletrogeométrico para cada estrutura estudada e das simulações realizadas com o software de análise de risco, e considerando as informações obtidas pelo pessoal técnico das obras — a saber, que todas as estruturas metálicas estão bem aterradas e que a malha de aterramento instalada obedece às dimensões normalizadas e de boa prática —, são indicados a seguir alguns locais a serem evitados pelos trabalhadores quando da aproximação e durante tempestades. Também são indicados locais onde a probabilidade de descargas atmosféricas atingirem trabalhadores é reduzida.

**FEICON 2013: conheça os lançamentos**

**DUTOTEC®**  
A eletrocalha de alumínio que faz a diferença.

12 a 16/03  
Anhembi  
São Paulo - SP

**DUTOTEC® CAD**  
Software para cabeamento estruturado inteiramente gratuito, usado por mais de 10000 projetistas.  
[www.dutoteccad.com.br](http://www.dutoteccad.com.br)

**DUTOTEC®**  
Marca consagrada no território nacional e latino americano.

Conheça também  
**QTMÓV®**  
Soluções práticas para móveis.  
[www.qtmov.com.br](http://www.qtmov.com.br)

0800 702 6828 Fone: +55 (51) 2117 6600 [www.dutotec.com.br](http://www.dutotec.com.br)

*Locais onde se deve evitar a presença de trabalhadores quando da aproximação e durante as tempestades:*

- em todas as partes superiores externas das coberturas das estruturas;
- em locais abertos, fora dos volumes de proteção;
- em partes expostas da estrutura com mais de 20 metros de altura, como janelas, escadas externas, partes laterais abertas da estrutura, chaminés, etc.; e
- na operação de guindastes ou pontes rolantes em áreas fora do volume de proteção ou, no caso de estar dentro do volume de proteção, que nenhuma parte do equipamento operado ou em movimentação fique fora do volume de proteção. Note que as "áreas" indicadas no estudo através de desenhos referem-se a volumes de proteção considerando pessoas ou objetos com altura inferior a 2,5 metros referenciados ao solo. No caso de guindastes com grandes lanças, apesar de eventualmente estarem em uma área protegida, provavelmente uma parte do equipamento estará fora do volume de proteção.

*Locais onde a probabilidade de descargas atmosféricas atingirem trabalhadores é reduzida:*

- nas partes internas das estruturas (nas estruturas com mais de 20 metros de altura, tomar cuidado com as partes expostas citadas); e
- nas áreas naturalmente protegidas (por exemplo, no interior da estrutura onde a cobertura é toda metálica).

#### Recomendações

Considerando todas as premissas mencionadas e com base nos resultados obtidos nas simulações e também nos cálculos dos volumes de proteção pelo método eletrogeométrico, recomenda-se:

- Verificar a equipotencialização de todas as estruturas, checando as condições do aterramento (se foi executado conforme projeto e projetado de acordo com as normas e bons procedimentos), as interligações das massas metálicas ao aterramento (se a quantidade é suficiente, se as seções dos cabos de interligação são adequadas, se as conexões foram bem feitas), as interligações entre

as massas metálicas (se todas as massas metálicas de uma determinada estrutura estão interligadas entre si, se elas estão interligadas também às armaduras das vigas de concreto e fundação da estrutura). Além disto, a interligação mal feita das estruturas metálicas ao aterramento impede a utilização destas partes metálicas como parte integrante do SPDA. Deve-se assegurar frequentemente a continuidade elétrica dos condutores principalmente pelo fato de ser uma obra e eventuais intervenções no solo e nas montagens poderem romper alguma ligação elétrica.

- Considerando que todas as medidas de equipotencialização foram tomadas e que os aterramentos das estruturas estão de acordo com as normas, a análise dos volumes de proteção calculados permite dizer que as estruturas metálicas das áreas estudadas fornecem nível de proteção I, ou seja, com eficiência de 98%. Assim, pessoas nas partes expostas da estrutura (coberturas, janelas, escadas externas, andaimes externos, laterais descobertas, etc.) fazem parte da estrutura

Qualidade sob controle

COEL



Para PROTEÇÃO de seus equipamentos

Nova linha de Monitores COEL

Monitores de Tensão Trifásico  
BVD e BVT

Monitorer de Falta e Sequência de Fase  
BVF e BVS

- BVD = Monitoração de mínima e máxima tensão, Histerese ajustável
- BVT = Monitoração de mínima e máxima tensão, Assimetria e Falta de fase
- BVF = Monitoração de falta de fase
- BVS = Monitoração de falta e sequência de fase

Visite nosso stand!  
Stand H40

FIEE

27ª Feira Internacional da Indústria Elétrica, Eletrônica, Energia e Automação

1 a 5 de abril de 2013 | 13h às 21h - Sexta, 13h às 20h | Anhembi | São Paulo | [www.fiee.com.br](http://www.fiee.com.br)

Tel. II 2066-3211

[www.coel.com.br](http://www.coel.com.br)

[vendas@coel.com.br](mailto:vendas@coel.com.br)

# ELOS

Luvras de emenda

**TORQUIMÉTRICOS**

Solução prática fácil e rápida

Sem uso de ferramenta de prensagem

Uso em cabo de cobre e alumínio

Várias bitolas de cabo

Terminações desconectáveis

Terminal de cabo

Tel: +55 41 3383-9290 | E-mail: elos@elos.com.br

[www.elos.com.br](http://www.elos.com.br)

## DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

sob o ponto de vista da descarga atmosférica, podendo ser atingidas por elas. Neste sentido, recomenda-se a evacuação das pessoas nesses locais um pouco antes e durante as tempestades.

- Retirar pessoas das áreas externas das estruturas fora dos volumes de proteção indicados, principalmente em campo aberto, um pouco antes e durante as tempestades.

- Adotar medidas de segurança cabíveis para uma obra dessa natureza, como hidrantes adequados, extintores de incêndio bem localizados e em quantidade suficiente, uso de EPIs necessários e certificados (botas isoladas e luvas podem aumentar a segurança em relação às eventuais sobretensões indiretas), trabalhadores bem treinados e com boas noções de segurança, rotas de fuga sinalizadas e metodologia de evacuação adequada.

- Adquirir um sistema local de avisos de tempestades, que poderá ser ajustado às necessidades específicas da obra, sem perder a segurança necessária.

- Instalar DPS nos quadros de alimentação elétrica e/ou nas tomadas onde serão conectados equipamentos elétricos a serem manuseados pelos trabalhadores. Nos quadros sem DPS, deve-se evitar a conexão de equipamentos durante tempestades com incidência de raios. Embora este artigo não contemple diretamente o efeito das sobretensões de origem da rede elétrica, simulações preliminares indicam que esse fenômeno é um risco a ser considerado.

- O comportamento das pessoas frente às descargas atmosféricas pode determinar o risco de acidentes. Mesmo que o trabalhador não seja atingido diretamente pelo raio, um acidente pode ocorrer devido a seu comportamento diante de uma descarga em algum ponto próximo. Por exemplo, o pânico gerado pode causar quedas, pessoas cardiopatas podem ser acometidas de um mal súbito, o alto ruído produzido pode ter consequências na audição do trabalhador, os efeitos do campo magnético da corrente da descarga podem afetar aparelhos como marca-passos ou mesmo dar início a uma fibrilação ventricular.

### Ensaio em calçados de segurança

Um estudo sobre a suportabilidade a

impulsos atmosféricos em calçados de proteção utilizados nas obras de refinarias da Petrobras foi realizado no IEE-USP, a fim de complementar o estudo dos efeitos diretos [10]. Foram ensaiados dois tipos de calçados de segurança, de fabricantes diferentes, sendo um novo e o outro seminovo, ambos com certificação CA (verificada somente através de numeração impressa nas amostras).

Como o objetivo dos ensaios realizados no IEE-USP era verificar a suportabilidade visando às tensões de passo e, eventualmente, de toque para descargas atmosféricas, o procedimento utilizado foi diferente do normalizado. Além disso, foram realizadas simulações para avaliar os níveis de tensões (magnitudes) que podem ocorrer em uma malha típica devido à incidência de uma descarga atmosférica em uma instalação de refinaria de petróleo (nível do solo ou na estrutura típica). Os níveis de potenciais foram calculados em torno do ponto de incidência da descarga atmosférica. Todas as simulações foram obtidas no domínio do tempo.

### Metodologia

Inicialmente, são apresentados resultados de ensaios realizados em dois tipos de calçados, referentes às tensões de ruptura dos solados e nas laterais. Posteriormente, comparou-se esses resultados com os obtidos nas simulações computacionais realizadas por meio do sistema CDEGS. Os parâmetros de entrada utilizados no software foram obtidos através de um relatório de aterramento de um dos sites de refinaria da Petrobras [11].

### Ensaio de impulso atmosférico e de alta tensão e resultados

Foram realizados testes em: (1) calçado novo, marca Conforto, numeração BRA 43, EU 45, biodensidade, Shock absorber, B. ACO, CA 7237 N43, Lote 250309; e (2) calçado seminovo, marca Bompel, numeração EUR 43, BRA 41, oil resistant, CA 8681 09 10, lote 31840 41.

No calçado (1) foi realizada medição da impedância (característica do solado) e verificação da tensão de impulso de perfuração e da tensão disruptiva em 60 Hz. Já no (2), observou-se a tensão de impulso de perfuração e determinou-se a tensão de 50% pelo método de acréscimos e decréscimos.

A figura 2 mostra o calçado (2) submetido aos testes. Foi inserido ao calçado um pé metálico para simular o pé de uma pessoa.

O calçado (1) foi submetido à medição de impedância do solado e foi encontrada impedância com 68 pF de capacitância e 100 MΩ de resistência, dispostos em paralelo. Esse tipo de impedância é adequado para uso em baixas frequências (na indústria, por exemplo). Para impulsos, essa impedância não é mais válida, pois, se utilizado nas simulações, praticamente toda a corrente é conduzida pelo efeito capacitivo.

Houve a perfuração dos calçados (1) e (2) nos valores de 38,2 kV e 48,7 kV, respectivamente. Ressalta-se que as perfurações não ocorreram diretamente no solado, mas entre as costuras e a folha de alumínio (aterrada) na qual é colocado o calçado, ou seja, em pontos frágeis com baixo dielétrico. Esses valores obtidos não foram corrigidos para as condições normais de temperatura e pressão.

Para o ensaio de tensão disruptiva, o calçado (1) sofreu perfuração com o valor médio de 22,3 kV, já corrigido para as condições normais de temperatura e pressão.

Por fim, o calçado (2) foi submetido ao ensaio para determinação de tensão de 50% pelo método de acréscimos e decréscimos, nas polaridades positiva e negativa. Foram encontrados os valores de 48,4 kV para a polaridade positiva e 41,6 kV para a polaridade negativa. É importante ressaltar que esse método é aplicado para equipamentos elétricos (tolerável a falhas de 10%), nas quais as falhas ainda são toleráveis. Porém, essa tolerância deve ser minimizada em se tratando de segurança a seres humanos.



Fig. 2 – Calçado (2)

### Simulações para cálculo de tensões de passo e toque

As simulações para obtenção dos gradientes de potenciais em função do nível do solo (magnitudes) devido ao efeito das descargas atmosféricas foram realizadas por meio do programa computacional CDEGS, que considera diversos elementos construtivos de uma dada instalação. Os cálculos baseiam-se nas equações de Maxwell, sendo que, para os elementos construtivos, considerou-se uma parte de uma típica instalação tridimensional, presente nas refinarias da Petrobras.

A instalação (figura 3) no site considerado consiste, a princípio, de estruturas (A, B, C e D), trechos da malha e hastes de aterramento. A ilustração mostra, para fins de simulação, os pontos de injeção da corrente na malha. Na figura 3 não estão indicadas as localizações das hastes de aterramento. A figura 4

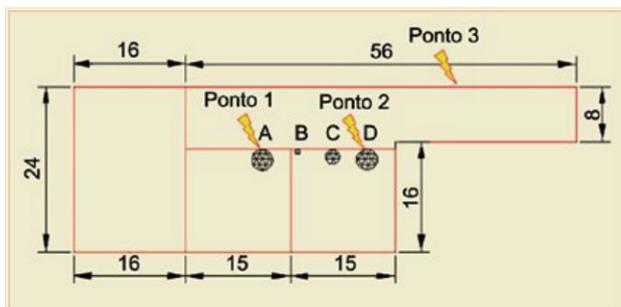


Fig. 3 – Malha típica presente nas instalações da Petrobras (dimensões em metros)

mostra o perfil da instalação com outros detalhes relevantes, como as hastes, o ponto A de impacto da descarga atmosférica, as linhas P1 a P10 que indicam as retas em que foram realizadas as análises das simulações (gradientes de potenciais, ou seja, magnitudes em 10 pontos ao longo da reta, espaçadas de 5 m, e ao longo do tempo até 150 μs), além da malha. P6 corresponde à linha mais próxima do ponto de impacto da descarga atmosférica.

Para avaliação inicial das magnitudes dos potenciais, ao todo, foram realizados seis simulações: duas para a primeira descarga de retorno e quatro para a subsequente. Foi dada maior atenção às simulações para a descarga subsequente, pois esta se mostrou mais severa. As ondas de correntes foram obtidas através de uma equação de dupla exponencial, onde os parâmetros A, α e β são ajustados de tal forma a se obter a curva desejada:

$$i(t) = A \cdot [e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}] \quad (1)$$

Para a primeira descarga de retorno, foi considerado um caso típico e um severo. A onda de corrente para o caso típico está mostrada na figura 5, e para o caso severo, na figura 6. Para ambos os

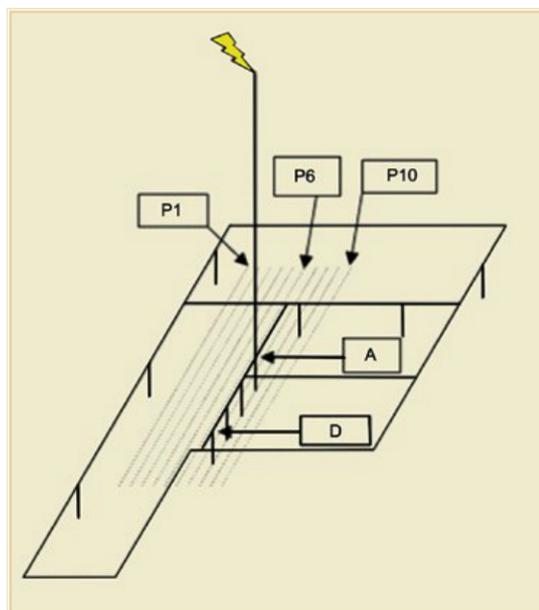


Fig. 4 – Perfil do site sob estudo (estrutura A, malha de aterramento, hastes, linhas de análise P1 a P10, ponto de impacto da descarga atmosférica – topo da estrutura)

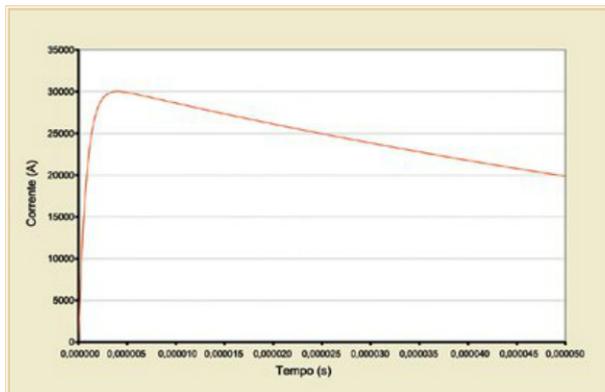


Fig. 5 – Típica onda de corrente de uma primeira descarga de retorno

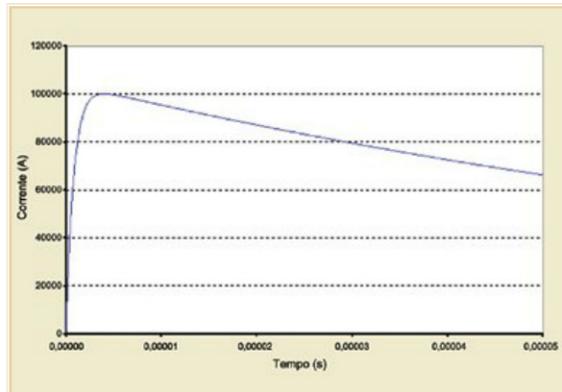


Fig. 6 – Onda de corrente severa de uma primeira descarga de retorno

casos, o tempo de frente adotado foi de 4  $\mu$ s (valor típico de uma primeira descarga de retorno), sendo que os valores de pico das correntes foram de 30 kA (caso típico) e 100 kA (caso severo).

Em relação à resistividade do solo para essa primeira descarga de retorno, foi considerado o valor típico de 100  $\Omega$ .m, fornecido no relatório da Petrobras [11].

Foram realizadas também quatro simulações para o caso de uma descarga subsequente incidente em três diferentes pontos da malha, com valor de pico da corrente de 30 kA (valor severo), tempo de frente de 0,7  $\mu$ s (valor típico para uma descarga subsequente) e tempo de cauda de 30  $\mu$ s. A figura 7 mostra essa onda de corrente.

É importante ressaltar que o caso 6 refere-se a uma simulação com resistividade do solo de 5000  $\Omega$ .m. Já nos ca-

sos 1 a 5, a resistividade do solo é de 100  $\Omega$ .m.

### Resultados das simulações

Os ensaios mostraram que os valores de suportabilidade às tensões impulsivas não dependem do isolante do solado, e sim das distâncias de isolamento externas ao calçado entre eventuais furos da costura e o terra. Ou seja, a ruptura acontece externamente ao calçado, pelo ar, sem perfurar o solado.

Os valores suportáveis a impulsos atmosféricos dos calçados dependem do estado do solado (espessura), do local das costuras e do plano de terra, que, no caso de o solado estar na lama, pode acarretar numa distância de isolamento praticamente nula.

Para considerar os valores de tensão suportável obtidos no ensaio, é preciso estabelecer as mesmas condições, ou seja, que o calçado esteja seco e sob uma superfície plana, sólida e seca, ou aplicar

outro fator de segurança que considere as diferenças entre as condições de ensaio e o uso real do calçado. Este valor é importante, pois será o indicador do local onde os trabalhadores poderão estar seguros de tensões de passo perigosas.

Assim, o programa para determinar as magnitudes das tensões permite estimar graficamente os locais onde estas, para os casos mais críticos, estarão com valores abaixo da tensão suportável de impulso dos calçados.

A tabela I mostra, segundo a recomendação IEEE Std 1410:1997 [12], os parâmetros típicos medidos para a primeira descarga e a subsequente.

Para uma primeira descarga de retorno, o valor da ordem de 30 kA corresponde a um valor médio de 50% das ocorrências desse tipo de descarga (com incidência comum em estruturas da ordem de 60 m). O valor de 100 kA corresponde a menos de 5% das ocorrências para a primeira descarga de retorno. Os tempos de frente de 4  $\mu$ s e cauda de 80  $\mu$ s correspondem a valores médios típicos para uma primeira descarga de retorno.

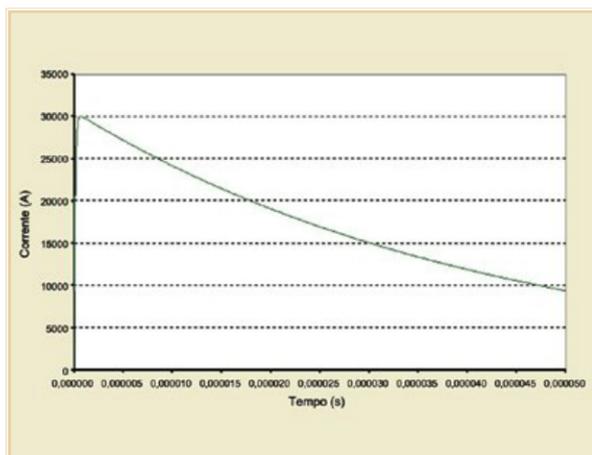


Fig. 7 – Onda de corrente severa de uma descarga subsequente

Tab. I – Parâmetros das descargas atmosféricas (adaptada da IEEE Std 1410:1997 [12])

Parâmetros	Tipo da componente da descarga atmosférica	
	Primeira descarga	Descarga subsequente
Pico da corrente $I_p$ (kA)	31,1	12,3
Tempo de frente equivalente $T_{d30/90}$ ( $\mu$ s)	3,83	0,67
Tempo de cauda/meia onda $T_h$ ( $\mu$ s)	77,5	30,2

**OMRON**  
Sensing tomorrow™

**Tecnologia japonesa  
aplicada a soluções  
completas em  
automação industrial**

-  Componentes Industriais
-  Sensoriamento
-  Automação e Controle
-  Controle de Movimento
-  Automação em Segurança



 Consulte a linha completa de produtos e soluções  
  
  
[www.industrial.omron.com.br](http://www.industrial.omron.com.br)

Suporte técnico  
Treinamentos presenciais e online

Distribuidores em todo o Brasil  
<http://industrial.omron.com.br/parceiros/distribuidores>

## DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

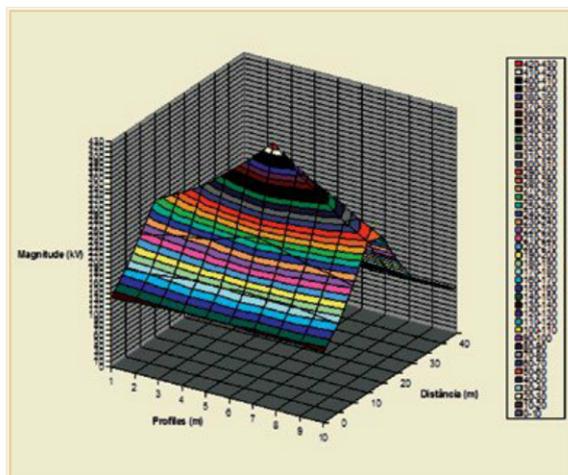


Fig. 8 – Distribuição tridimensional dos potenciais no solo para o caso da descarga subsequente

Com relação às descargas subsequentes, os valores dos tempos de frente de  $0,7 \mu\text{s}$  e cauda de  $30 \mu\text{s}$  correspondem a valores médios típicos. É importante ressaltar que o valor da corrente de pico de  $30 \text{ kA}$  para a descarga subsequente estatisticamente corresponde a menos de 5% das ocorrências. O valor médio (50% dos casos) para esse tipo de descarga é da ordem de  $12 \text{ kA}$  [13].

Em relação às simulações computacionais, os valores da magnitude dos potenciais calculados (em relação à terra) atingiram valor da ordem de  $105 \text{ kV}$  (valor de pico) para uma descarga com corrente de pico de  $30 \text{ kA}$  e  $350 \text{ kV}$  (valor de pico) para corrente de pico de  $100 \text{ kA}$ , todos referentes à primeira

potenciais de toque.

Considerando tais valores encontrados nas proximidades do ponto de incidência da descarga atmosférica, o caso mais crítico mostrou-se para a descarga subsequente (valor de pico da corrente alto e tempo de frente curto). Assim, foi feito um mapeamento específico para alguns casos estudados das linhas de potenciais formados na área da malha sob estudo. A figura 8 mostra a distribuição tridimensional da magnitude dos potenciais e a figura 9, uma vista superior da distribuição dos potenciais no solo, ambos referentes ao caso 3. Essa distribuição de potencial foi analisada para o tempo da ordem de  $0,3 \mu\text{s}$ , pois graficamente mostrou o ponto em que as tensões apresentaram os picos de valor, ou seja, considerados os pontos mais críticos.

descarga de retorno.

Para a descarga subsequente, o valor de pico da tensão atingiu um valor da ordem de  $430 \text{ kV}$  para resistividade do solo de  $100 \Omega \cdot \text{m}$  e um valor da ordem de  $2310 \text{ kV}$  para solos com resistividade alta de  $5000 \Omega \cdot \text{m}$ , ambos para uma corrente com valor de pico de  $30 \text{ kA}$ . Esses valores de pico são relevantes para a análise dos

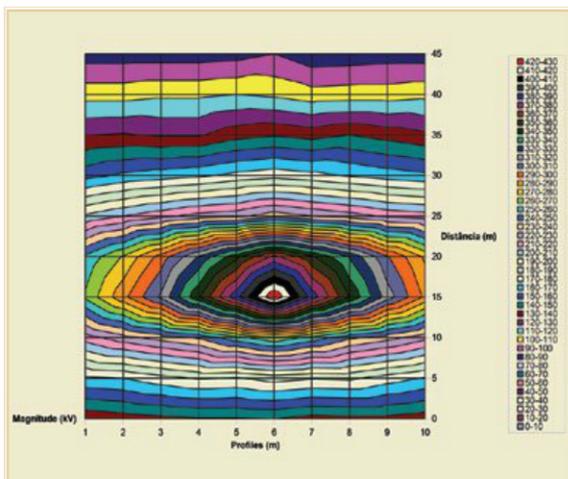


Fig. 9 – Vista planar dos potenciais no solo para o caso da descarga subsequente

As figuras 10 e 11 mostram a distribuição dos potenciais (com níveis de 10 kV para a figura 10 e de 50 kV para a figura 11) para os dois últimos casos simulados (5 e 6), respectivamente, para um mesmo ponto de injeção de corrente, porém para resistividades do solo diferentes. As curvas de níveis foram sobrepostas sobre a porção típica do site da refinaria utilizado nas simulações. A porção foi dividida em espaçamentos de 1 metro na horizontal e vertical com o intuito de permitir a visualização de uma forma mais efetiva dos gradientes de potenciais (vista planar).

Em relação às figuras 10 e 11, pode-se dizer que ocorrem potenciais de passo perigosos com gradiente de tensão da ordem de 20 kV (de forma conservadora), conforme os ensaios de impulso realizados nos calçados. A figura 11 mostra uma distribuição de potencial com gradientes muito elevados, o que torna o potencial de passo perigoso em uma área bastante extensa. O mesmo não ocorre na figura 10, o que possibilita a demarcação de algumas áreas perigosas para esse caso específico.

Já em relação aos potenciais de toque, os valores obtidos nas simulações são bastante elevados em todos os casos, mesmo com o uso dos calçados. Entretanto, é importante ressaltar que o estudo é específico para esse caso particular de malha, que é o mais crítico. Simulações em outras partes de malhas e, eventualmente, valores diferentes de parâmetros do raio devem fornecer resultados com diferentes valores de distribuição dos potenciais no solo. Dessa forma, existe uma infinidade de resultados de simulações.

Porém, as simulações referentes às descargas subsequentes mostram que a configuração da malha para uma região de baixa resistividade do solo (no caso 100  $\Omega$ .m) não influencia de forma significativa na distorção da distribuição dos potenciais no solo. Nesse caso, a princípio, os potenciais distribuem-se de forma relativamente circular, com os potenciais de passo perigosos distribuídos a um raio da ordem de 10 m referentes às simulações para os casos mais críticos (por exemplo, a figura 10). O mesmo não ocorre para o caso de um solo com alta resistividade,



## SOLUÇÕES ABRANGENTES COM QUALIDADE MÁXIMA CERTIFICADA.

Uma solução completa em um único fornecedor otimiza custos e tempo entre as negociações e o fornecimento. Projetos e obras mais ágeis, permitem que nossos clientes se concentrem em seus verdadeiros negócios.



### Gterflex **EPR 90°C**

Flexível e prático para instalar.  
Economia com segurança total.

### LOWTOX

Não halogenados com baixa emissão de fumaça. previnem riscos à vida e ao patrimônio

### MÉDIA TENSÃO

Tecnologia que proporciona segurança para o mais exigentes projetos



# 45 ANOS

Conheça toda a linha no site  
[www.ipce.com.br](http://www.ipce.com.br)

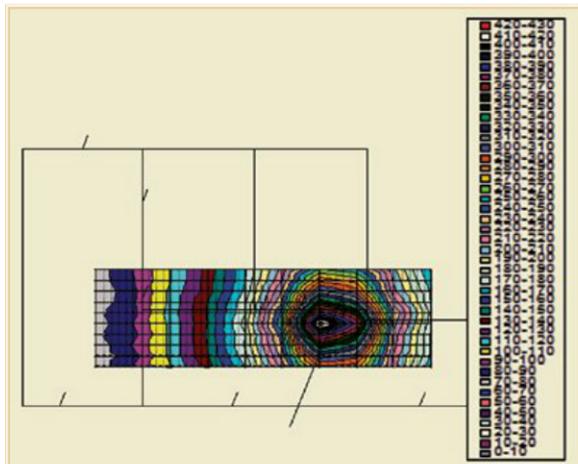


Fig. 10 – Vista planar dos potenciais no solo para o Caso 5 ( $\Omega = 100 \Omega.m$ ).

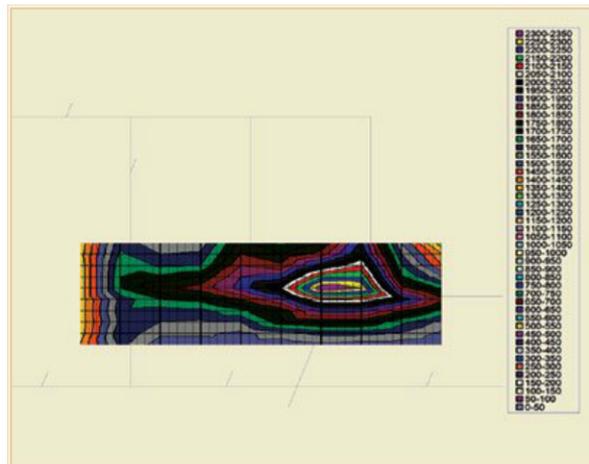


Fig. 11 - Vista planar dos potenciais no solo para o Caso 6 ( $\Omega = 5000 \Omega.m$ ).

conforme figura 11, pois os potenciais se distorcem consideravelmente próximo às malhas.

### Conclusões

O método de avaliação proposto pela norma IEC 62304-2 baseia-se na análise estatística e fornece diretrizes para definição da necessidade ou não de instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

A partir do que foi parcialmente assumido e verificado da construção, haja vista que o estudo é feito com a obra em andamento, foram feitas simulações embasadas nos métodos preconizados pelas normas, acompanhando as combinações impostas pelo método e pelas

condições iniciais de estudo acordadas.

Nas simulações, foram obtidos os números indicados para os diversos casos. Os cálculos apontam que, se certas condições puderem ser garantidas, o risco segundo o valor indicado pela norma encontra-se dentro dos limites.

O estudo em si é uma análise estatística que, por sua natureza, está acompanhada de uma incerteza. Abordando de maneira simplificada, pode-se atribuir ao limite indicado pela norma o seguinte significado: um sinistro a cada 100 mil anos, sem excluir a possibilidade do evento ocorrer dentro do prazo de execução da obra.

Em resumo, a probabilidade de ocorrência de um sinistro é numericamente

baixa em todas as condições calculadas. Entretanto, essa afirmação traz consigo incertezas relacionadas aos limites impostos ao estudo, de modo que não é recomendável decidir sobre a mudança dos procedimentos existentes somente com base nesses números. Por isso, foi realizado um estudo utilizando o modelo eletrogeométrico que definiu volumes de proteção, considerando um nível de proteção normalizado (I, no caso), que prevê eficiência global teórica de 98%. A eficiência global de um sistema de proteção é a relação entre o número de descargas que caem sobre o SPDA ou sobre a estrutura e não produzem danos a ela e o número médio esperado de descargas

## BOBINADEIRAS PARA

# Transformadores de Alta e Baixa Tensão

## e bobinados com lâminas

consulte nossa **Tel./fax: (16) 3368-5710**  
 equipe de vendas: [www.megacoil.com](http://www.megacoil.com) - [mega@megacoil.com](mailto:mega@megacoil.com)

**MEGA**  
BOBINADEIRAS  
COIL WINDING MACHINES

Rua Georg Ptak, 243 - Jd. São Paulo - CEP 13570-420 | São Carlos-SP - BRASIL

sobre a área de atração da estrutura.

Este trabalho apresenta um estudo que analisa o risco de perda de vida para trabalhadores em obras de grandes refinarias de petróleo e a otimização dos procedimentos para interrupção do trabalho nos períodos de alerta de aproximação de tempestades com descargas atmosféricas. Mostra ainda exemplos de estruturas e seus volumes de proteção onde os trabalhadores estão expostos às descargas atmosféricas diretas com riscos dentro dos limites aceitáveis pela norma, e propõe uma revisão nos procedimentos utilizados atualmente pelas companhias de petróleo em relação a interrupções em períodos de alerta pelos sistemas de localização de descargas com a aproximação das tempestades.

Analisando as simulações realizadas juntamente aos testes nos calçados, verifica-se que diversos parâmetros influenciam os potenciais de passo: resistividade do solo, parâmetros da descarga atmosférica (valor de crista da corrente, forma de onda), configuração da malha de ater-

ramento, tipo e condições do calçado.

Os potenciais de toque são bastante altos, portanto, perigosos. Desta forma, os trabalhadores devem ficar distantes das estruturas altas da obra durante os períodos de alerta de descargas e não devem tocá-las.

Em relação aos potenciais de passo, foram utilizados os parâmetros mais críticos e verificou-se que em alguns pontos do solo esses potenciais podem atingir valores perigosos, principalmente se a resistividade do solo for alta. Neste caso, a malha de aterramento deve ser muito bem projetada. De qualquer forma, os potenciais de passo em relação às descargas atmosféricas são menos críticos em seres humanos.

#### Referências

- [1] Sueta, H. E.; Shighihara, M.; Burani, G. F.; Nascimento, W. J. D.: *Risk analysis associated to lightning in oil refinery construction sites*. 30th International Conference on Lightning Protection, Cagliari, Italy, 2010.
- [2] Sueta, H. E.; Shighihara, M.; Burani, G. F.; Nascimento, W. J. D.: *Effects of Lightning in Oil Plants Construction Sites – Step and Touch Voltage Simulation and Tests in Work Footwear*. XI Simpósio Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas, Fortaleza, 2011.

- [3] IEC 62305-2/2010 - Protection against lightning – Part 2: Risk management.
- [4] ABNT NBR 5419/2005 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.
- [5] Naccarato, Kleber Pinheiro: *Análise das características dos relâmpagos na região sudeste do Brasil*. Tese de doutoramento no INPE, 2005.
- [6] Revista *Eletricidade Moderna* – Notícia "Aumenta o número de mortos por raios no Brasil" – Ano 38, Nº 433, Abril 2010.
- [7] Documento: 2009PD00RE002Y: *Relatório técnico referente ao estudo de análise de risco associado às descargas atmosféricas diretas aos trabalhadores da obra Revap* – Rev. 2.
- [8] Documento: 2009PD00RE005Y: *Complemento do relatório técnico referente ao estudo de análise de risco associado às descargas atmosféricas diretas aos trabalhadores da obra Revap*.
- [9] Sueta, H. E.; Caires, L.E.; Grimoni, J.A.B.; Duarte, R.R.: *Development of a risk analysis computer program according to the IEC62305-2*. In X International Symposium on Lightning Protection, Curitiba, Brazil, 2009.
- [10] Sueta, H. E.; Shighihara, M.; Burani, G. F.; Nascimento, W. J. D.: *Risk analysis associated to lightning in oil refinery construction sites*. 30th International Conference on Lightning Protection, Cagliari, Italy, 2010.
- [11] Report MC-2310-E.07-005: *Memória de cálculo da malha de terra*. 18 p, 20/9/2007.
- [12] IEEE Std. 1410: *IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines*. IEEE Standards Board, 1997.
- [13] Anderson, R. B.; Eriksson, A. J.: *A summary of lightning parameter for engineering applications*. International Conference on Large High Voltage Electric Systems, Cigre, SC 33, 1980.

Trabalho apresentado no Ene 2012 - XIV Encontro Nacional de Instalações Elétricas (14 a 16 de agosto de 2012, em São Paulo, SP).

**AcuityBrands**

LITHEONIA LIGHTING

LED

CABANDINI

tersen

AEL

accu

HOLOPHANE

PEARLESS

WINONA

gotham

PS&C

SUNOPTICS

**Iluminação Industrial Tecnologia LED**



#### Holophane - PLED - Petrolux

- Luminária LED de alta performance desenvolvida para ambientes industriais severos de até 55°C
- Gerenciamento Térmico superior garante maior vida útil e eficiência dos componentes
- IP66 e selo UL para área Naval
- Dispositivo para montagem universal (Pendente, Teto, Parede ou Poste)
- 3 opções de ótica (facho concentrado, aberto ou alongado)
- Dimerização opcional permite economizar energia em horários de menor fluxo.
- **Aplicação:** Indústrias Químicas e Têxteis, Usinas de Alcool e Energia e Refinarias.

#### Potencia Equivalente

LUMENS	LED	V. METÁLICO
8.800	87W	150W
10.400	116W	250W



**luminárias PROJETO**

Fábrica: Via Anchieta, km 11 - São Paulo - SP  
home page: [www.luminariasprojeto.com.br](http://www.luminariasprojeto.com.br)  
PABX: (11) 2946-8200