

## MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO E CARGAS ELETROSTÁTICAS EM SUPERFÍCIES DE AERONAVES

*Nilton Zanqui<sup>1</sup>, Sidney Osses Nunes<sup>2</sup>, Jair Cândido de Melo<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup>Universidade do Vale do Paraíba / FEAU, Av. Shishima Hifumi 2911 – Urbanova – S. J. dos Campos - SP, n.zan@uol.com.br, jair@univap.br

<sup>2</sup>Embraer – Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A / Departamento de Engenharia de Desenvolvimento do Produto, Av. Brigadeiro Faria Lima 2170 – Putim – S. J. dos Campos – SP, sidney@embraer.com.br

**Resumo-** O objetivo deste trabalho é demonstrar que através do mapeamento dos níveis de tensão, obtidos entre o contorno de uma aeronave e um plano de terra externo de referência, é possível identificar as regiões de concentrações de cargas eletrostáticas ao longo das superfícies das aeronaves. Os dados obtidos através deste método de análise podem ser utilizados para caracterizar de forma mais precisa os pontos primários de incidência de raios, definir os pontos mais adequados para instalação de descarregadores de cargas eletrostáticas e contribuir também para a especificação de materiais e proteções apropriadas para as partes externas da aeronave mais afetadas pelas descargas elétricas atmosféricas.

**Palavras-chave:** Campo Elétrico, Cargas Eletrostáticas, Aeronave, Descarregadores, Descargas Elétricas  
**Área do Conhecimento:** Engenharia Elétrica

### Introdução

Uma aeronave se deslocando através de campos eletrostáticos da atmosfera, pode produzir localmente intensa ação sobre o meio dielétrico, imediatamente adjacente à sua superfície. Com um aumento significativo desta ação, o dielétrico do ar torna-se ionizado e o fluxo de corrente ou *Corona* resultante pode gerar emissões de rádio frequência que, uma vez interagindo com os sistemas da aeronave, podem causar interferência nos sistemas de navegação e de comunicação (COOPER, 1966a).

O efeito *Corona* é uma descarga luminosa que se forma em volta de condutores, quando o campo elétrico (gradiente de tensão com a direção normal à superfície do eletrodo) excede um nível crítico, por volta de 30 kV/cm no ar e na pressão atmosférica ao nível do mar. Pode também se formar em objetos aterrados e expostos a altos campos elétricos provenientes de alguma fonte remota, como condutores de alta voltagem ou nuvens de tempestade carregadas. Também ocorre em extremidades de aeronaves eletricamente carregadas quando voam através de nuvens. *Corona* é uma descarga localizada, mas pode ser o precursor do raio completo e fonte potencial de interferência em receptores de rádio (FISHER, 1990).

Vários fenômenos naturais podem também resultar em suficiente diferença de potencial entre as várias partes da superfície de uma aeronave em voo que, imediatamente adjacente às extremidades, induzem o aparecimento de gradientes de potencial suficientemente altos para produzir ionização atmosférica local (COOPER,

1966b). Todos os materiais expostos ao atrito de partículas estão sujeitos ao acúmulo de cargas elétricas as quais se distribuem, a uma determinada taxa, na superfície de uma aeronave em voo, que é influenciada pela resistividade dos materiais utilizados nestas superfícies (THORNELL, 2005).

Para o devido controle e ação sobre os efeitos *Corona* em uma aeronave, é fundamental o conhecimento da distribuição de campos elétricos e identificação dos pontos de maior concentração de cargas eletrostáticas nas superfícies, constituindo este o principal objetivo deste trabalho.

### Metodologia

Para identificar as regiões de concentrações de cargas eletrostáticas ao longo das superfícies de uma aeronave, elaborou-se uma modelagem da distribuição de campo elétrico através do mapeamento dos níveis de tensão, tomados entre o contorno de um modelo plano de uma determinada aeronave e um plano de terra externo de referência. Com este mapeamento, obtém-se então a distribuição das linhas equipotenciais (HALLIDAY; RESNICK, 1994).

Para isto monta-se uma bancada de testes, composta de um modelo metálico 2D de uma determinada aeronave, um plano de terra, um material de baixa condutividade elétrica (água) inserido entre o modelo metálico e o plano de terra e todos estes componentes montados num recipiente de material não condutivo. Utiliza-se também uma fonte de tensão DC e equipamentos de medição.

O mapeamento das linhas equipotenciais é obtido aplicando-se uma diferença de potencial de aproximadamente 40 Volts DC entre o modelo metálico e o plano de terra. Através de um voltímetro, obtém-se a leitura dos valores de tensão dos pontos intermediários, entre o modelo e plano terra de referência, obtendo-se assim as linhas equipotenciais.

Para fins de comparação de resultados, faz-se uso de um modelamento matemático da distribuição de campo elétrico e potencial elétrico empregando-se um modelo preliminar com forma geométrica mais simples. Vejamos o exemplo de um modelo metálico circular. Para este caso então, considerando um modelo em 2D, o campo elétrico pode ser expresso como:

$E = K/r$ , onde  $K$  = constante proporcional à carga ou potencial do condutor central (HALLIDAY; RESNICK, 1994), em nosso caso, o modelo circular.

Assim:

$$dV = E \cdot dr \quad V - V_0 = \int_a^r E \, dr$$

$$V - V_0 = \int_a^r \frac{K}{r} \, dr \quad V = K \int_a^r \frac{1}{r} \, dr$$

$$V - V_0 = K \ln r \Big|_a^r \quad V = K (\ln r - \ln a)$$

$$V - V_0 = K \ln \left( \frac{r}{a} \right) \quad V = V_0 + K \ln \left( \frac{r}{a} \right)$$

Aplicando-se as condições de contorno:

$$r = a \rightarrow V(a) = V_0 \quad \text{e} \quad r = b \rightarrow V(b) = 0$$

Obtemos:

$$V(b) = V_0 + K \ln \left( \frac{b}{a} \right) = 0$$

$$V(r) = V_0 - \frac{V_0}{\ln \left( \frac{b}{a} \right)} \ln \left( \frac{r}{a} \right)$$

Simplificando, chega-se em:

$$V(r) = V_0 \cdot \frac{\ln \left( \frac{b}{r} \right)}{\ln \left( \frac{b}{a} \right)}$$

Esta equação nos mostra a distribuição das linhas equipotenciais para este modelo circular plano com raio de 7,5 cm (vide Figura 1), com seus respectivos potenciais (vide tabela 1).

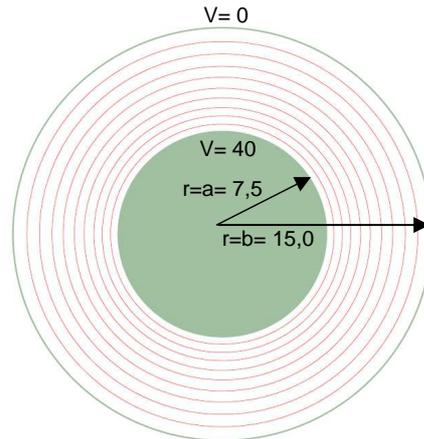


Figura 1- Distribuição das linhas equipotenciais no modelo circular plano.

Tabela 1- Linhas equipotenciais e seus valores de tensão.

V(r)	r (a → b)
40	7,5
36	8,0
32	8,6
28	9,2
24	9,9
20	10,6
16	11,4
12	12,2
8	13,1
4	14,0
0	15,0

## Resultados

Considerando o modelo de uma aeronave, o resultado esperado, no final de toda a leitura dos níveis de tensão, é o traçado de todas as linhas equipotenciais conforme ilustração (vide Figura 2).

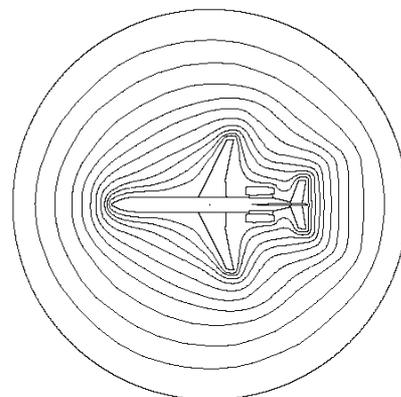


Figura 2- Distribuição das linhas equipotenciais no modelo da aeronave.

Com isto identificam-se as regiões de concentrações de cargas eletrostáticas ao longo do contorno da superfície do modelo, representando desta forma o mesmo efeito a ser considerado ao longo da superfície de uma aeronave.

## Discussão

Experimentos desta natureza não são comuns em função da complexidade envolvida. A escolha do material intermediário, entre o modelo e o plano de terra e o nível de tensão aplicado, exige também testes preliminares, a fim de se identificar àqueles que mais se adequam à necessidade do experimento. O material intermediário, deve ter características de baixa condutividade elétrica, não podendo interferir nas medidas de tensão a serem auferidas.

A relação  $E = K/r$  foi adotada considerando-se que a distribuição do campo elétrico entre um condutor central e um plano de referência (plano de terra) está confinado na região plana entre ambos. A validade desta relação é verificada através das medições obtidas com o disco circular metálico. Uma pequena variação nos resultados é esperada, visto que a distribuição real de campo elétrico ocorre tridimensionalmente, conforme ilustração (vide Figura 3).

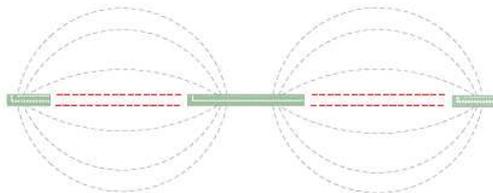


Figura 3- Distribuição das linhas de campo elétrico com vista lateral da montagem do disco central e plano terra de referência externo.

## Conclusão

O mapeamento de todas as linhas equipotenciais, obtido a partir do modelo da aeronave considerada, confirma os efeitos evidenciados em situações reais, onde as aeronaves são expostas ao atrito com partículas de poeira e gelo, constituindo-se num dos principais mecanismos de aumento do potencial elétrico e conseqüente aparecimento de campos elétricos intensos nas extremidades das estruturas.

O desenvolvimento deste trabalho e os desafios que o acompanham, considerando-se a busca da comprovação dos dados de forma prática e experimental, a partir de princípios basicamente teóricos, é bastante motivadora e ao mesmo tempo desafiadora e com certeza servirá

de base para outros experimentos e aplicações. Os dados extraídos deste trabalho podem ser utilizados para comparação e validação de resultados obtidos através de modelamento computacional de campo elétrico em outras estruturas similares às aqui avaliadas.

## Agradecimentos

Obrigado ao Laboratório de Robótica & Automação (LRA/FEAU) e a empresa Novelis do Brasil pelo apoio no desenvolvimento do modelo metálico utilizado neste trabalho.

## Referências

- COOPER, C.E – Corona – Generated Noise in Aircraft - Wireless World, November 1966a.
- COOPER, C.E – Siting Considerations for Aircraft Dischargers - Journal of the Aeronautical Society, July 1966b.
- FISHER, F.A.; PLUMER, J.A. – Lightning Protection of Aircraft - Lightning Technologies Inc., 1990
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.. – Fundamentos da Física, Eletromagnetismo V 3 - 3ª ed .- Rio de Janeiro: LTC, 1994.
- THORNELL, J. – Evaluating a material's response to static charge. - ICOLSE – International Conference on Lightning and Static Electricity. - The Boeing Company – Seattle – USA , Setembro 2005.