

Modelagem do campo elétrico no entorno de um isolador de alta tensão polimérico classe 500 kV mediante variação do anel anti-corona

HUEDERSON APARECIDO BOTURA DA SILVA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
huedersonbotura@hotmail.com

ALEXANDRE DE ASSIS MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
amota@puc-campinas.edu.br

LIA TOLEDO MOREIRA MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo – Brasil
lia.mota@puc-campinas.edu.br

Resumo – Este artigo aborda o estudo para determinação de uma função que melhor representa o comportamento do campo elétrico mediante a variação das dimensões do anel anti-corona instalado em um isolador polimérico da classe de tensão de 500 kV. Os dados de entradas foram obtidos através de simulações realizadas utilizando os programas Gmsh e Getdp. Na conclusão é apresentado um gráfico comparando os dados de entrada com a função que melhor representa a intensidade do campo elétrico.

Abstract – *This article describes the study to determine a function that best represents the behavior of the electric field by varying the dimensions of the anti corona ring installed in isolator polymeric with class of tension of 500 kV. The input data obtained through simulations were performed using the Gmsh and Getdp programs. In conclusion present a graph comparing the input data with the function that best represents the intensity of the electric field.*

Palavras-chave: Anel anti-corona, Isolador polimérico, Gmsh, método dos mínimos quadrados, resíduo médio quadrático.

Introdução

Os anéis anti-corona são acessórios utilizados em isoladores com classe de tensão igual ou superior a 138 kV [1], sua finalidade é a equalização do campo elétrico nos terminais do isolador.

O isolador é um equipamento utilizado em linhas de transmissão, na qual o mesmo possui características mecânicas e elétricas. Referente às características mecânicas podemos citar a necessidade do isolador suportar cargas de tração decorrentes da sustentação dos cabos elétricos de alta tensão e também em função do esforço dos ventos nos mesmos.

As características elétricas são essenciais em decorrência de sua característica principal de isolar pontos com diferença de potencial (ddp), na qual podemos citar dois fatos importantes, a isolação a impulso e a isolação a frequência industrial.

A isolação a impulso tem o intuito de isolar a ddp decorrente de impulsos gerados por descargas atmosféricas (raios) e está diretamente ligada com a distância de arco do isolador, por sua vez, a distancia de escoamento está ligada a isolação a impulsos de manobra, que são impulsos gerados decorrente do acionamento de chaves seccionadoras.

A equalização do campo elétrico no isolador possui como intuito a não formação de rádio interferência (RIV), efeito este que pode interferir em canais de comunicações. O valor máximo da RIV é especificado pelas normas NBR 15122 e NBR 15121 [2,3].

A RIV é um efeito atribuído ao efeito corona, que possui a forma de uma coroa luminosa [4] e acontece quando o valor crítico do ar é atingido [5] este efeito causa também ruídos [6].

Além do problema da RIV, o campo elétrico nos terminais dos isoladores ocasiona a formação de ozônio, que é um dos principais causadores de degradação em isoladores poliméricos [5].

Objetivo

Este trabalho possui como objetivo estudar dentre várias famílias de funções, a que melhor se enquadra na representação do campo elétrico mediante a variação do diâmetro do condutor do anel anti-corona no terminal fase do isolador da classe de tensão de 500 kV.

Metodologia

Para identificar o melhor modelo, foram executadas as seguintes etapas:

- Coleta de dados;
- Escolha do tipo de modelo;
- Escolha da estrutura do modelo;
- Estimção de parâmetros;
- Validação do modelo. [7]

A coleta de dados foi realizada através de simulações utilizando os programas Gmsh e Getdp conforme as referências [5,8]. Utilizando-se a metodologia descrita em [8] foi possível obter os dados contidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados obtidos na simulação

Diâmetro do anel anti-corona (cm)	Campo elétrico (V/cm)
1	1707772,0
3	1187857,5
5	919863,9
7	766787,9
9	657166,0
11	586116,2
13	525334,2
15	479330,2
17	440173,1
19	407365,1
21	378557,0
23	355634,4
25	337527,5
27	317390,5
29	303091,0
31	285928,2
33	274693,7
35	261461,8
37	253037,5
39	241896,2
41	232587,8

Para a análise das funções, os dados disponíveis foram divididos em dois conjuntos (dados de identificação e dados de validação), conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Dados de identificação e dados de validação

Dados de identificação		Dados de validação	
Diâmetro do anel anti-corona (cm)	Campo elétrico (V/cm)	Diâmetro do anel anti-corona (cm)	Campo elétrico (V/cm)
1	1707772,0	3	1187857,5
5	919863,9	7	766787,9
9	657166,0	11	586116,2
13	525334,2	15	479330,2
17	440173,1	19	407365,1
21	378557,0	23	355634,4
25	337527,5	27	317390,5
29	303091,0	31	285928,2
33	274693,7	35	261461,8
37	253037,5	39	241896,2
41	232587,8	-	-

A estimação paramétrica do modelo empregou o método dos mínimos quadrados (MMQ). Como critério comparativo entre as famílias investigadas, foram utilizados a média do resíduo médio quadrático (RMQ) e o desvio percentual dos dados realizados em relação aos estimados. A equação 1 explicita o cálculo utilizado para determinação do RMQ.

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (1)$$

Onde:

E_m é a média do resíduo quadrático

Y_i é o valor de entrada

\hat{Y}_i é o valor estimado

n é o número de amostras

Já método do desvio percentual utilizado neste trabalho consiste em verificar a variação (percentual) do valor estimado em relação ao valor de entrada. A métrica nesse caso corresponde à média do módulo da porcentagem de cada valor, conforme demonstra a equação 2.

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \left(\frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \times 100 \right) \right|}{n} \quad (2)$$

Onde:

P_m é a média da porcentagem

Y_i é o valor de entrada

\hat{Y}_i é o valor estimado

n é o número de amostras

As famílias de modelos investigadas estão representadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Funções e expressões estudadas

Função	Expressão matemática	
Linear	$y = -26677x + 1000000$	(3)
Exponencial	$y = 1000000e^{-0,043x}$	(4)
Logarítmica	$y = -400000 \ln(x) + 1626582,78$	(5)
Polinomial de ordem 2	$y = 1417,2x^2 - 86200x + 1506626,8$	(6)
Polinomial de ordem 3	$y = -76,764x^3 + 6253,3x^2 - 165896x + 1758439,21$	(7)
Polinomial de ordem 4	$y = 4,0603x^4 - 417,83x^3 + 15373x^2 - 248092x + 1906533,451$	(8)
Polinomial de ordem 5	$y = -0,21x^5 + 26,107x^4 - 1237,4x^3 + 28116x^2 - 321771x + 2000000$	(9)
Polinomial de ordem 6	$y = 0,0103x^6 - 1,5115x^5 + 88,202x^4 - 2626,9x^3 + 42656x^2 - 381915x + 2073821$	(10)
Potência	$y = 2000000x^{-0,55} - 14282,648$	(11)

Resultados

A Figura 1 apresenta as curvas das funções estudadas e os dados de entrada. Já a Tabela 4 apresenta o RMQ e da média da Porcentagem para cada uma das funções investigadas.

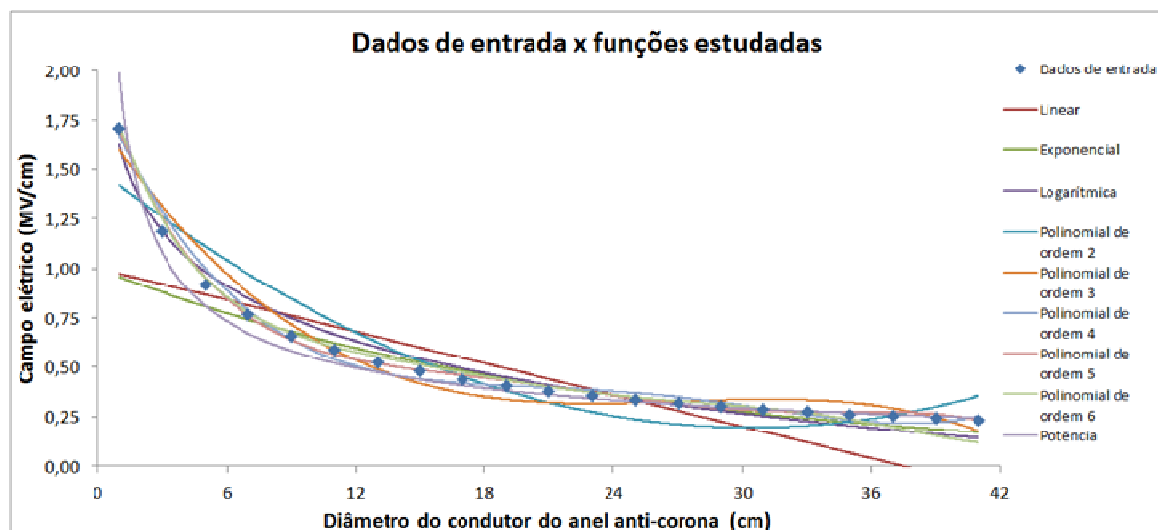


Figura 1. Gráfico dos dados de entrada x funções estudadas

Tabela 4 – RMQ e média da Porcentagem das funções estudadas

Função	Dados de	RMQ	Porcentagem (%)
Linear	Identificação	70753900751	40,67
	Validação	24320587801	33,14
Exponencial	Identificação	53425858001	13,53
	Validação	10608563984	10,52
Logarítmica	Identificação	4023506362	13,84
	Validação	3027914177	12,24
Polinomial de ordem 2	Identificação	18901788332	22,40
	Validação	10239603671	20,05
Polinomial de ordem 3	Identificação	5346746567	13,38
	Validação	4494347423	11,22
Polinomial de ordem 4	Identificação	1301711035	6,88
	Validação	1758874679	6,71
Polinomial de ordem 5	Identificação	281502568	2,98
	Validação	677826371	3,92
Polinomial de ordem 6	Identificação	1871528923	9,55
	Validação	1474574867	7,98
Potência	Identificação	9007231844	6,87
	Validação	2812206686	6,13

A família que apresentou o menor RMQ e desvio percentual foi a função polinomial de ordem 5. Neste sentido, a Figura 2 apresenta curvas que permitem comparar os dados de entrada com a expressão (9) .

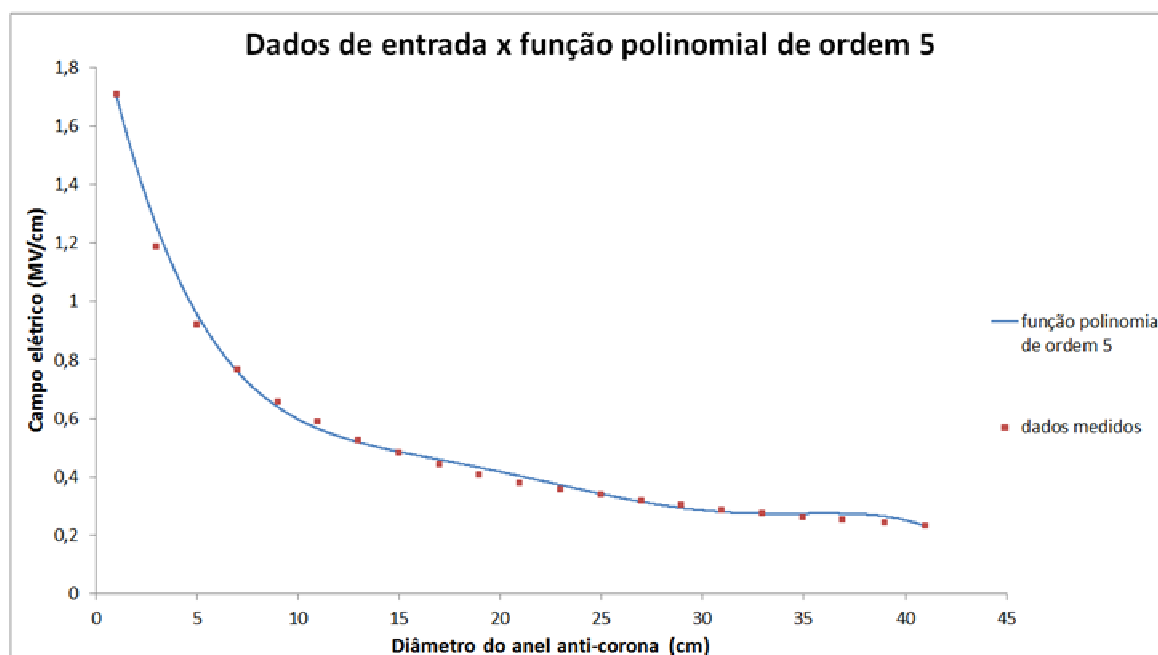


Figura 2. Gráfico comparando dados de entrada x função polinomial de ordem 5

Conclusão

Analisando os dados obtidos observa-se que a função Polinomial de ordem 5 apresentou a menor variação de resíduo pelo RMQ e pela Porcentagem, permitindo concluir que é, dentre as investigadas, a função que melhor expressa o gráfico do comportamento do campo elétrico mediante a variações do anel anti-corona em isoladores poliméricos de 500kV.

Referências

- [1]. FERRARO, R., Dohleman, E., Philips A (2010). “*Corona Rings: Are They Needed?*”.1 Mar. 2010. Disponível em http://tdworld.com/overhead_transmission/polymer-insulator-failures-20100301/index1.html. Acesso em: 10 abr. 2011.
- [2]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). “*NBR 15122: Isoladores bastão compostos poliméricos para tensões acima de 1000V*”. Rio de Janeiro, 2004.
- [3]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). “*NBR 15121: Isolador para alta-tensão – Ensaio de medição da radiointerferência*”. Rio de Janeiro, 2004.
- [4]. GIANELLI, B. F. (2007). “*Caracterização do efeito corona em isoladores poliméricos do tipo bastão submetidos à poluição salínica*”. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais) - UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 73p., 2008.
- [5]. SILVA, H. A. B., MOTA, A. A., and MOTA, L. T. M. (2011). “*Dimensionamento de anel anti-corona em isolador polimérico para classe de tensão de 500 kV através do estudo de campo elétrico*”. Em: VI Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, 2011. Anais do VI Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, 2011. ISSN: 2175-1897.
- [6]. MELLO, D.R. (2007). “*Avaliação de ensaios de radiointerferência e corona visual em cadeias de isoladores*”. Palestra ministrada em Furnas, jun. 2007.
- [7]. MOTA, L. T., MOTA, A. A. (2012). Notas de aula da disciplina “Tópicos em Gestão de Serviços”, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PUC-CAMPINAS – 2012.
- [8]. SILVA, H. A. B., MOTA, A. A., and MOTA, L. T. M. (2012). “*Interferência da variação do anel anti-corona na distribuição do Campo elétrico em isoladores da classe de tensão de 500kV*”. Em: IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012. ISSN: 2175-1897.

Contato

Huederson Botura é engenheiro eletricista e está cursando Projetos Mecânicos na Faculdade de Tecnologia “Arthur de Azevedo” e é mestrando na PUC-Campinas, no curso de Gestão de Redes de Telecomunicações. Atua como engenheiro de desenvolvimento na Indústria Eletromecânica Balestro Ltda. Telefone de contato: (19) 9142-0611 e e-mail huedersonbotura@hotmail.com
Alexandre Mota e Lia Mota são docentes permanentes e pesquisadores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Campinas.