

Spacer Design for 15 kV Compact Overhead Distribution Networks for Regions with High Environmental Aggressiveness

S. L. F. Santos, F. S. Richart, G. C. da Silva, E. L. Kowalski, S. Ribeiro, Jr., A. P. Dadam, and M. Munaro

Abstract— The aim of this paper is presents the studies to development of 15 kV spacer design with dimensions and geometry suitable for operation of these in compact overhead distribution lines with high environmental aggression. Computer simulations to evaluate the electric field distribution in different projects of compact overhead distribution networks spacers were made, including conventional models and other with dimensions, geometries, materials and/or product design changes. Additionally, multi stress assays were performed in order to evaluate some of the indications obtained in computer simulations by applying cycles of salt spray under pressure and electric current.

Index Terms— Spacer cable systems, compact overhead distribution lines, environmental aggression, electric field.

I. INTRODUCTION

AS CONCESSIONÁRIAS de energia elétrica, diante do desenvolvimento das grandes cidades, buscam agregar eficiência e baixo custo às necessidades do local de instalação das redes de distribuição. Com o intuito de minimizar os impactos ambientais causados pela implantação de uma rede, as distribuidoras têm optado pela instalação de redes aéreas protegidas (redes compactas) nas áreas urbanas [1, 2].

A compactação das redes protegidas é possibilitada pelo uso de cabos cobertos, espaçadores e braços-suporte, que permitem maior proximidade entre os cabos condutores, sem o risco de curto-circuito e implicando em menor impacto visual [3]. Como exemplos de utilização eficaz das redes protegidas pode-se a cidade de Maringá no Paraná e de Campos do Jordão em São Paulo [1].

This paper was submitted for review on 2016-10-26.

S. L. F. Santos, PIPE (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Paraná e Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), Curitiba - Brasil, signie@lactec.org.br

F. S. Richart, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), Curitiba - Brasil, fabio.richart@lactec.org.br

G. C. da Silva, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), Curitiba - Brasil, cunha@lactec.org.br

A. P. Dadam, Centrais Elétricas de Santa Catarina, Florianópolis - Brasil, alessandrodp@celesc.com.br

S. Ribeiro Jr., Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), Curitiba - Brasil, ribeiro@lactec.org.br

E. L. Kowalski, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), Curitiba - Brasil, edemir@lactec.org.br

M. Munaro, PIPE (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba - Brasil,

marilda.munaro94@gmail.com

Apesar das diversas vantagens oferecidas pela rede aérea protegida, a instalação deste não é recomendada em regiões com média e elevada agressividade ambiental, tais como áreas industriais e litorâneas, em função do processo de envelhecimento acelerado dos seus equipamentos e acessórios [4]-[10]. Em operação as redes aéreas protegidas ficam submetidas a diversos estresses: elétrico, térmico, mecânico e ambiental. Estes estresses, agindo de forma individual ou combinada, são os responsáveis pelo envelhecimento dos materiais poliméricos utilizados na isolamento de equipamentos e acessórios de redes aéreas protegidas. Os principais mecanismos de envelhecimento que ocorrem nestas redes são: o trilhamento elétrico e a erosão de materiais poliméricos [11]-[16]. Nas redes aéreas protegidas os fenômenos de trilhamento elétrico e erosão ocorrem principalmente na interface cabo-espaçador ou cabo-isolador [11]-[13].

Uma alternativa para a operação das redes aéreas protegidas em locais de maior agressividade ambiental pode ser o desenvolvimento de novos equipamentos e acessórios para uso nesses sistemas quando instalados nestas regiões, de modo a apresentar a confiabilidade e a vida útil requeridas. Nesse sentido ferramentas computacionais para simulação de campos elétricos e esforços mecânicos vêm sendo bastante empregadas para a otimização de equipamentos e arranjos do setor elétrico, em redes de transmissão e distribuição de energia elétrica [14]-[23].

Que e Sebo [18], realizaram a simulação de campo elétrico e distribuição de potencial em isoladores poliméricos. No trabalho identificou-se que a distribuição do campo elétrico é mais uniforme quando o isolador se encontra úmido do que quando o mesmo se encontra limpo e seco. Em outra abordagem [19, 20] notou-se com a simulação de isoladores operando em condições de ambiente seco, com chuva e com salinidade, que o comportamento dos isoladores varia de acordo com sua matéria prima, seu formato e região onde está operando.

No estudo de Vásquez e Cortés [14] é utilizada a modelagem 3D por elementos finitos para calcular a distribuição de campo elétrico em redes protegidas e avaliado o uso de materiais com diferentes propriedades dielétricas para redução do nível de campo elétrico na região do berço do espaçador onde há o contato com o cabo protegido. Em uma continuação do estudo, verifica-se ainda que quando sob condições de poluição há significativa intensificação dos níveis de campo elétrico na interface cabo-espaçador, considerando-se esta a razão das falhas de redes compactas em regiões

litorâneas [15, 16].

Adicionalmente à realização de simulações computacionais para estudos da distribuição de campo elétrico, o ensaio de compatibilidade elétrica também contribui significativamente para avaliação de equipamentos e arranjos do setor elétrico. No ensaio de compatibilidade elétrica é possível mensurar o trilhamento de espaçadores, isoladores e outros acessórios poliméricos [24]-[27].

Neste trabalho serão apresentadas simulações computacionais de campo elétrico e de esforços mecânicos e ensaios de compatibilidade dielétrica (multiestressamento) realizados para o desenvolvimento de um protótipo de espaçador adequado para redes protegidas de 13,8 kV instaladas em regiões com elevada agressividade ambiental.

II. ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESPAÇADOR

Com o intuito de identificar os pontos críticos em relação à distribuição de campo elétrico nos espaçadores de redes aéreas protegidas convencionais foram realizadas simulações computacionais, através das quais pôde-se avaliar alterações no projeto dos espaçadores para minimizar os níveis de campo elétrico ao longo de sua geometria e reduzir as áreas susceptíveis ao acúmulo de poluição. Para a realização das simulações de campo elétrico foi utilizada a ferramenta computacional Comsol Multiphysics, que utiliza o método dos elementos finitos para realizar o cálculo de campo elétrico nas geometrias avaliadas.

No presente estudo também foram realizados ensaios de multiestressamento de forma não-normalizada [21], mas baseados na norma [20], como técnica de envelhecimento acelerado para gerar informações sobre o desempenho de diferentes arranjos de rede aérea compacta, possibilitando a avaliação de cabos, isoladores e acessórios aplicando ciclos de aspersão salina sob tensão e corrente elétrica. Tal teste tem como objetivo gerar subsídios para confirmar as indicações provenientes das simulações computacionais de campo elétrico.

Deste modo foi possível a definição das características dimensionais e de geometria do espaçador de redes protegidas de 13,8 kV para regiões com elevada agressividade ambiental.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Simulações computacionais de campo elétrico

As simulações de campo elétrico realizadas abordaram diferentes projetos de espaçadores, incluindo os modelos convencionais e outros com alterações de geometria e/ou concepção do produto.

A simulação de campo elétrico no espaçador convencional foi realizada com o intuito identificar as regiões mais susceptíveis à ação do campo elétrico. Na Fig. 1 podem ser verificados os resultados da distribuição de campo elétrico no projeto base do espaçador convencional por mapa de cores das regiões equipotenciais (as regiões brancas correspondem àquelas que ultrapassam a escala utilizada para facilitar a visualização). Segundo os resultados obtidos nas simulações, as regiões mais susceptíveis à ação de campo elétrico, ou seja, àquelas que possuem campo elétrico mais intenso,

correspondem à interface do cabo com o espaçador e o ar. Em relação ao espaçador, as regiões que apresentam o maior nível de campo elétrico são locais onde os condutores das fases são amarrados (berços). O valor de campo elétrico máximo na interface ar-cabo-espaçador obtido na simulação é da ordem de $1,9 \times 10^6$ V/m.

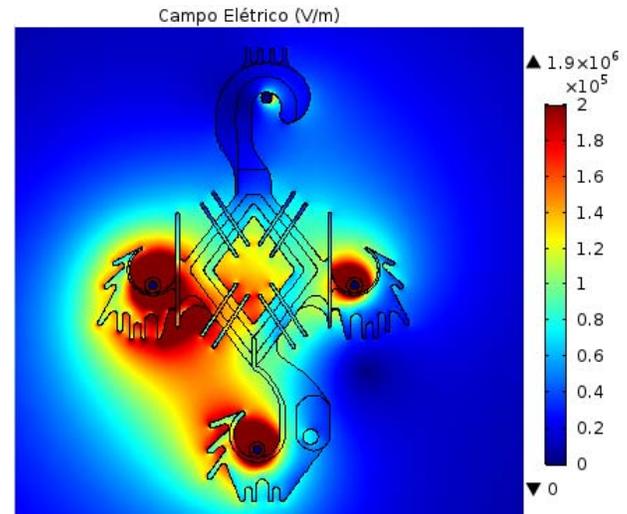


Figura 1. Distribuição de campo elétrico no projeto base do espaçador convencional.

Objetivando quantificar a variação do nível de campo elétrico em função do aumento da distância de escoamento foram realizadas simulações alterando a dimensão do projeto convencional do espaçador losangular. A dimensão do espaçador foi aumentada progressivamente até ser duplicada (15% a 100%) e as distribuições de campo elétrico correspondentes a estas variações estão apresentadas nas Fig. 2 a Fig. 4. Pode-se verificar que a distribuição de campo elétrico no espaçador com dimensões alteradas tem aparência muito semelhante ao caso convencional. Entretanto, os níveis de campo elétrico são alterados em função do aumento das distâncias entre os condutores. O nível de campo elétrico máximo observado no espaçador com as dimensões convencionais foi de $1,9 \times 10^6$ V/m e no espaçador com dimensões duplicadas de $1,7 \times 10^6$ V/m.

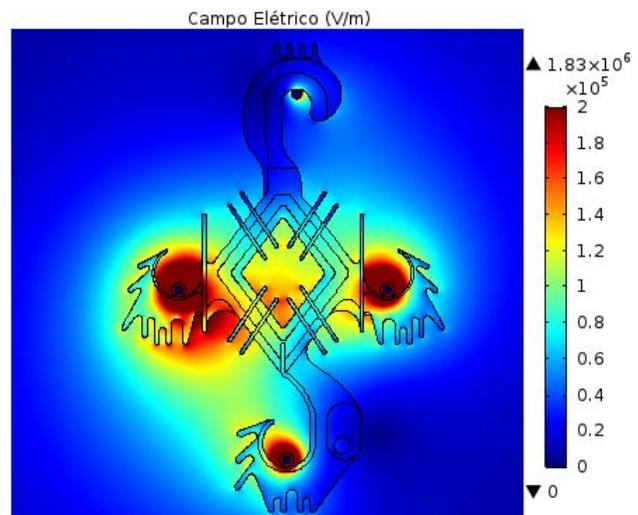


Figura 2. Linhas equipotenciais de campo elétrico no projeto base do espaçador convencional com aumento de 15% em suas dimensões.

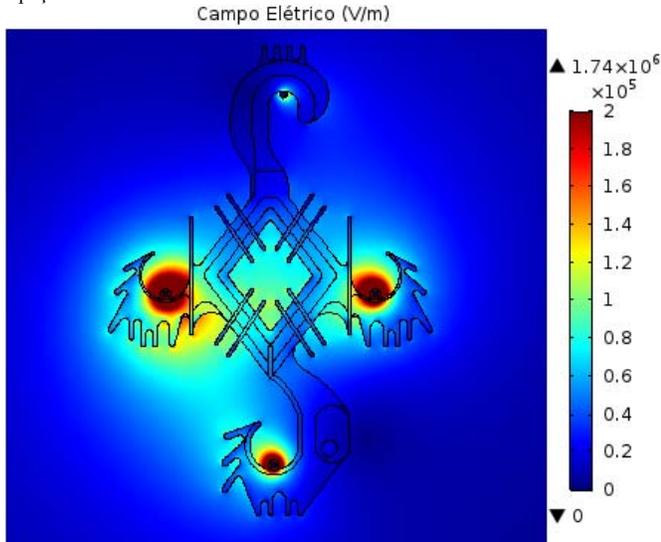


Figura 3. Linhas equipotenciais de campo elétrico no projeto base do espaçador convencional com aumento de 60% em suas dimensões.

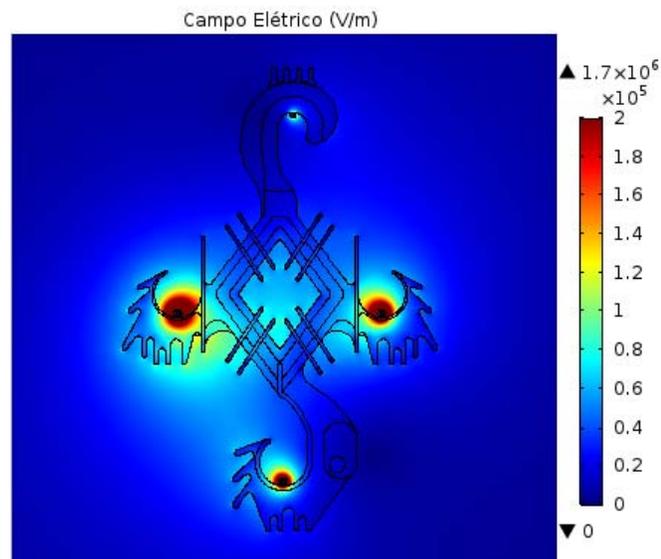


Figura 4. Linhas equipotenciais de campo elétrico no projeto base do espaçador convencional com aumento de 100% em suas dimensões.

Outra avaliação realizada consistiu em simular o projeto base do espaçador losangular convencional preenchido com material polimérico de permissividade semelhante a do espaçador na interface ar+cabo+espaçador. Os resultados da distribuição de campo elétrico obtida podem ser verificados na Fig. 5. Nota-se que com essa modificação o nível de campo elétrico máximo região de interface foi reduzido de $1,7 \times 10^6$ V/m para $1,34 \times 10^6$ V/m.

A aplicação de um filme semiconductor nos berços do espaçador também foi uma alternativa avaliada com o objetivo de verificar a distribuição de campo elétrico no espaçador. Estes resultados podem ser observados na Fig. 6.

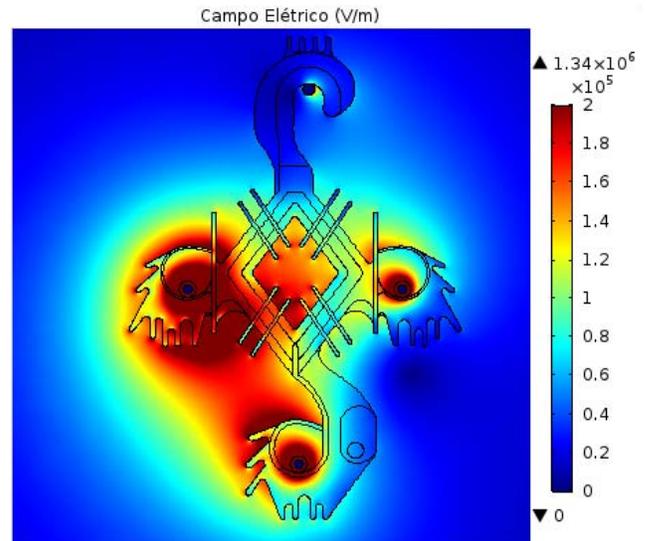


Figura 5. Linhas equipotenciais de campo elétrico no espaçador com condutores abrigados nos berços.

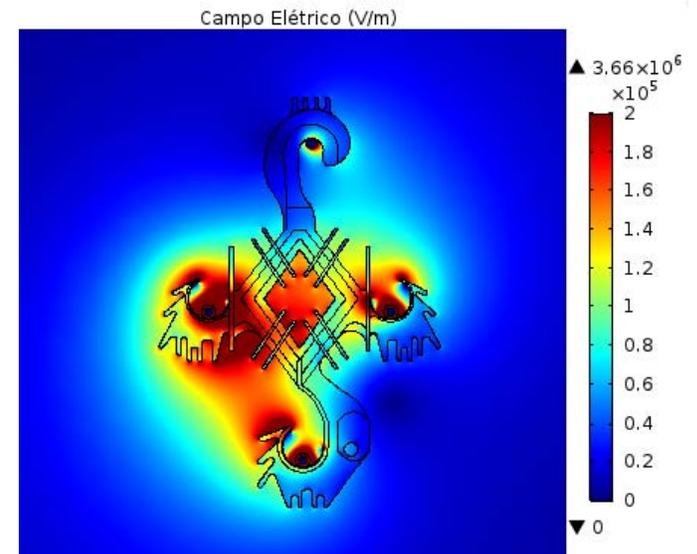


Figura 6. Linhas equipotenciais de campo elétrico no espaçador com filme semiconductor nos berços.

Nota-se que com a aplicação de um filme semiconductor nos berços do espaçador a distribuição de campo elétrico apresentou mudança significativa. Nas regiões dos berços (interface ar+cabo+espaçador) o campo elétrico passa a apresentar níveis muitos baixos em relação aos casos anteriores. Em contrapartida, níveis mais intensos de campo elétrico ocorrem nas demais regiões do espaçador. As regiões críticas passam então a se localizar nas imediações das terminações do filme semiconductor, com níveis de campo elétrico máximos da ordem de $3,6 \times 10^6$ V/m.

Por fim o aumento da distância de escoamento pelo alongamento e acréscimo de aletas foi avaliado com o intuito de se verificar a influência destas alterações na distribuição de campo elétrico no espaçador, conforme resultados apresentados na Fig. 7. Nota-se que o aumento da distância de escoamento pelas alterações nas aletas do espaçador reflete nos níveis de campo elétrico e na distribuição de campo elétrico ao longo do espaçador. Em relação aos níveis de

campo elétrico máximo, observa-se a redução para $1,2 \times 10^6$ V/m em relação ao espaçador convencional que apresentou nível de $1,9 \times 10^6$ V/m.

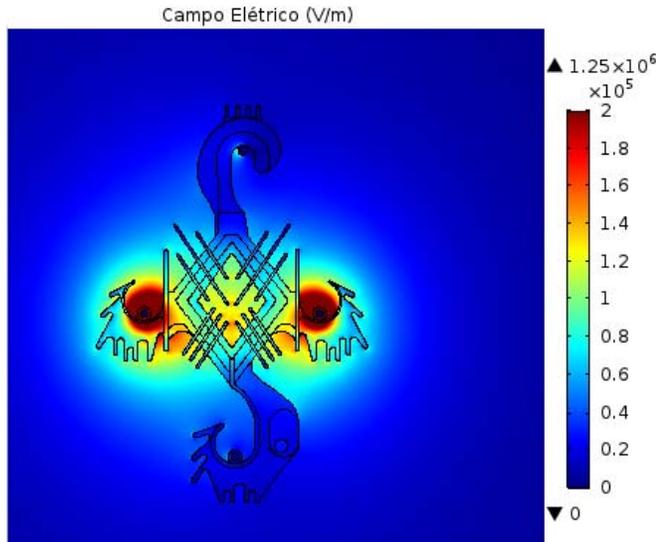


Figura 7. Linhas equipotenciais de campo elétrico no espaçador com alongamento e acréscimo de aletas.

B. Ensaio de compatibilidade elétrica (multiestressamento)

Foi montado arranjo experimental para realização do ensaio de multiestressamento com diferentes configurações de cabo, espaçador e isolador. Na tabela I estão descritos os equipamentos e montagens utilizadas, bem como código adotado para identificação e a Fig. 8 mostra uma representação esquemática do arranjo experimental.

TABELA I

Equipamentos e montagens do teste de multiestressamento

Código	Tipo do equipamento	Montagem
E-1	Espaçador 15 kV	Com fita semicondutora colada no espaçador
E-2	Espaçador 34,5 kV	Com fita semicondutora colada no espaçador
E-3	Espaçador 34,5 kV	Montagem padrão com cabo com camada semicondutora interna
E-4	Espaçador 15 kV	Montagem padrão com cabo com camada semicondutora interna

Para o teste, com duração de 30 dias, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Ciclos de aspersão de chuva de 05 (cinco) minutos, com 15 (quinze) minutos sem aspersão;
- Fluxo de aspersão de 01 mm/min de água com condutividade de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante 12 dias e de água com condutividade de 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante 18 dias;
- Tensão aplicada de 13,8 kV entre fases e corrente elétrica para manter a temperatura da superfície do cabo em 60° C.

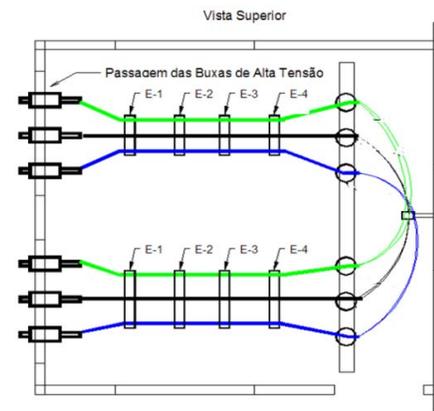


Figura 8. Representação esquemática do arranjo experimental.

Na Fig. 9 onde está apresentada a montagem da fita semicondutora no espaçador, pode ser observada a ocorrência de trilhamento elétrico no berço do espaçador, especificamente nas extremidades da semicondutora. Tal fato havia sido indicado nas simulações computacionais de campo elétrico.



Figura 9. Detalhes do espaçador com erosões e trilhamento no cabo e no espaçador: a) E-1, b) E-2.

Na Fig. 10 são apresentados os resultados da montagem padrão com cabo com camada semicondutora interna. O intuito desta montagem foi a avaliação de diferentes dimensões do espaçador. Neste caso verificou-se que o espaçador de 34,5 kV operando com tensão nominal de 13,8 kV entre fases apresentou desempenho superior àquele apresentado pelo de 13,8 kV. Estes resultados foram indicados nas simulações computacionais da avaliação do aumento da dimensão do espaçador. O espaçador de 34,5 kV tem dimensões aproximadamente 60% maiores que o de 13,8 kV.



Figura 10. Berço direito do espaçador com pequenas alterações nas interfaces entre o condutor e o espaçador e também internamente ao espaçador: a) E-3, b) E-4.

C. Definição do projeto do espaçador

Com o intuito de avaliar o quanto as modificações de geometria avaliadas influenciam na distribuição de campo elétrico no espaçador, não somente em relação ao valo

máximo, foram definidos oito pontos do espaçador e mensurados os valores de campo elétrico nestes pontos para cada uma das simulações realizadas. O objetivo desta avaliação foi identificar quais mudanças no espaçador são mais eficientes para proposição de novos projetos para espaçadores para aplicação em redes protegidas de regiões com elevada agressividade ambiental. Na Fig. 11 estão indicados os oito pontos de referência utilizados para comparação entre as simulações.

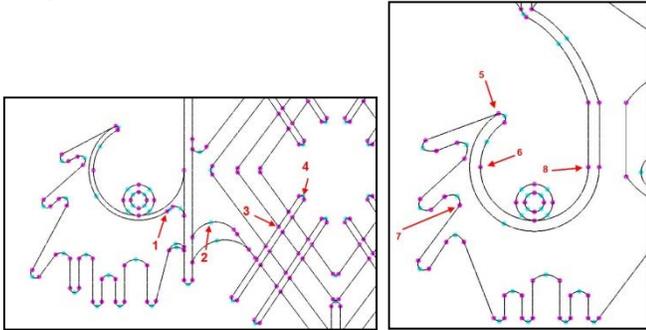


Figura 11. Pontos para avaliação do nível de campo elétrico no espaçador.

Primeiramente realizou-se comparação dos níveis de campo elétrico apenas para a avaliação de alterações nas dimensões do espaçador, a qual pode ser verificada na Fig. 12 através dos valores de campo elétrico nos pontos de referência considerando as dimensões do espaçador convencional até dimensão duplicada em relação a este (100% de aumento). De acordo com a Fig. 12 verifica-se que o comportamento do campo elétrico para todos os pontos avaliados é similar e decai exponencialmente em função do aumento da dimensão do espaçador. Nota-se que para aumento de dimensões superior a 60% começa a haver menor redução no nível de campo elétrico. Deste modo, definiu-se que as dimensões do espaçador proporcionais ao aumento de 60% em relação às dimensões do espaçador convencional devem ser consideradas para o projeto de espaçador de 15 kV para ser utilizado em redes protegidas em regiões com elevada agressividade ambiental, indo de encontro com o resultado obtido no ensaio de multiestressamento.

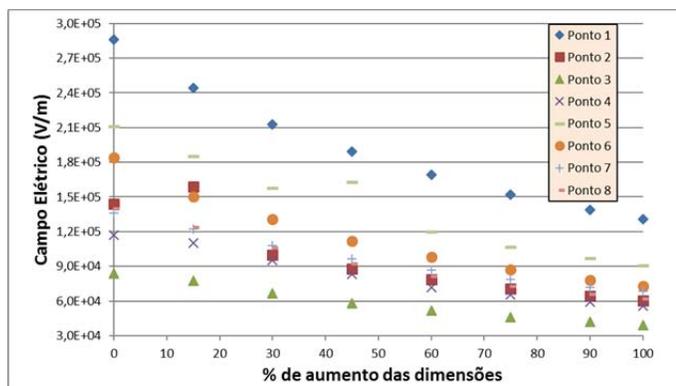


Figura 12. Campo elétrico nos pontos de referência em função do aumento da dimensão do espaçador.

Foi realizada, também, uma avaliação dos valores de campo elétrico nos pontos escolhidos considerando as diferentes alterações no projeto base do espaçador, conforme pode-se verificar na Fig. 13.

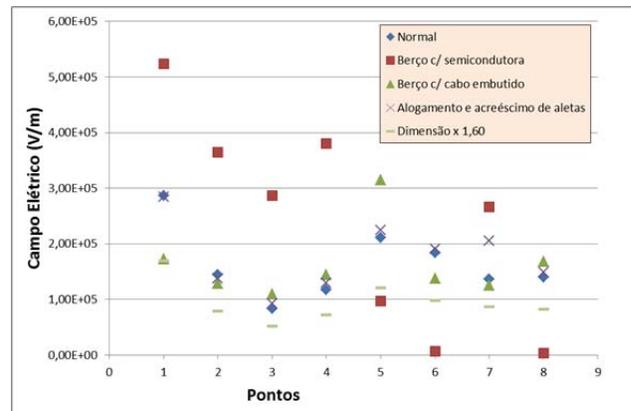


Figura 13. Campo elétrico nos diferentes pontos para as alterações no projeto base do espaçador.

Em relação às demais avaliações de alterações na geometria do espaçador verificou-se que o alongamento e acréscimo de aletas reduz os níveis de campo elétrico em relação ao projeto convencional. Já a utilização de um berço no qual o cabo fique embutido (abrigado) não demonstrou resultados satisfatórios. Além disso, tridimensionalmente a interface ar+cabo+espaçador seria apenas deslocada e o nível de campo elétrico máximo nessa região provavelmente seria equivalente àquele observado no projeto base do espaçador. A utilização de um filme semicondutor nos berços do espaçador, por sua vez reduziu significativamente os níveis de campo elétrico na região do berço do espaçador, entretanto níveis mais elevados de campo elétrico passam a ser observados nos locais da terminação do filme semicondutor, e de acordo com os resultados obtidos nos ensaios de multiestressamento esta alternativa não apresentou bom desempenho.

A partir da avaliação das alterações de geometria do espaçador, passou-se a trabalhar em alterações no design deste acessório com o intuito de otimizar as regiões do espaçador com grande acúmulo de poluição. O novo design proposto para o espaçador para redes protegidas em regiões de elevada agressividade ambiental está apresentado na Fig. 14, com indicação das principais alterações sugeridas.

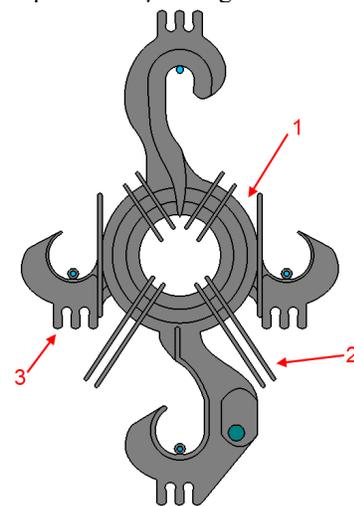


Figura 14. Novo design proposto para o espaçador de 15 kV para redes protegidas de regiões de elevada agressividade ambiental.

Na Fig. 14 a alteração sinalizada como número 1 corresponde a sua base central que passa a ser circular e não losangular. Com esta mudança tende-se a aumentar a resistência mecânica do espaçador, propiciar uma melhor distribuição de campo elétrico e ainda diminuir as regiões sujeitas a acúmulo de poluição. A sinalização número 2 corresponde ao alongamento das aletas inferiores do espaçador. Esta mudança tem o intuito de evitar que ocorra gotejamento da água da chuva destas aletas para o braço inferior do espaçador, onde já se evidenciou trilhamento por poluição. Esta alteração acaba também “protegendo” quase toda a região do braço inferior do espaçador de poluição. A sinalização número 3 tem o intuito de diminuir as “ranhuras” nestas regiões do espaçador de modo que haja menos lugares para concentração de poluição.

Desta maneira todas as alterações citadas compõem o novo projeto proposto para o espaçador de redes protegidas instaladas em regiões de elevada agressividade ambiental. Uma simulação de campo elétrico considerando este novo projeto de espaçador foi realizada e está apresentada na Fig. 15.

De acordo com as avaliações realizadas definiu-se o projeto tridimensional para o protótipo de espaçador de 15 kV adequado para operação em redes protegidas de regiões com elevada agressividade ambiental (pedido de patente n. BR 20 2015 018640 7 registrado junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI).

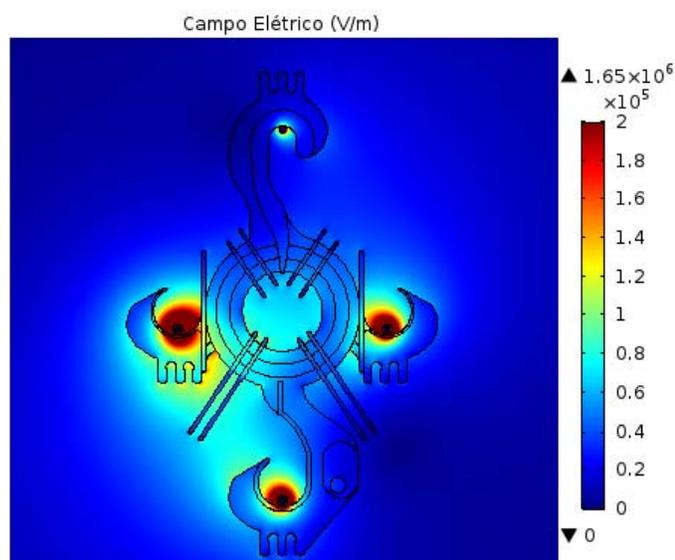


Figura 15. Distribuição de campo elétrico no novo projeto proposto para o espaçador de redes protegidas com elevada agressividade ambiental.

V. CONCLUSÃO

De modo geral pôde-se verificar que a utilização de ferramentas computacionais para avaliação de projetos de equipamentos foi muito útil para o desenvolvimento do um protótipo de espaçador adequado para aplicação em redes protegidas de 13,8 kV em regiões com elevada agressividade ambiental. Neste aspecto, foram realizadas simulações computacionais para avaliação de alterações na geometria deste equipamento, dentre as quais notou-se que o acréscimo e

aumento de aletas tem influência positiva na distribuição de campo elétrico. Abrigar os condutores em berço preenchido com material polimérico ou adicionar uma camada semicondutora nos berços do espaçador também não demonstraram resultados satisfatórios, uma vez que em ambos os casos os valores de campo elétrico máximo apenas foram deslocados entre diferentes regiões do espaçador. Desta forma, a alteração de geometria mais eficaz quanto à distribuição de campo elétrico no espaçador foi em relação as suas dimensões, chegando-se à conclusão que um aumento de 60% neste equipamento pode resultar em níveis de campo elétrico aproximadamente 8,5% inferiores. Os ensaios de multiestressamento realizados confirmaram as indicações obtidas nas simulações computacionais quando os espaçadores com camada semicondutora no berço apresentaram pontos de trilhamento elétrico e quando os espaçadores de 34,5 kV (aproximadamente 60% maiores que os de 13,8 kV) operando com tensão nominal de 13,8 kV entre fases apresentaram desempenho superior àquele apresentado pelo de 13,8 kV. Além do protótipo de espaçador apresentar uma distribuição de campo elétrico menos intensa em função da alteração de dimensão do mesmo, procurou-se realizar alterações no seu projeto que pudessem auxiliar na redução de áreas de concentração de poluição neste equipamento. Neste sentido a base do espaçador proposto é circular, suas aletas inferiores são alongadas e a quantidade de ranhuras é reduzida. Deste modo desenvolveu-se o projeto de espaçador de 15 kV para adequada operação em redes protegidas de ambientes com elevada agressividade ambiental.

REFERÊNCIAS

- [1] A. F. Rocha, “Mais Eficiência em Menor Espaço,” *Revista GTD – Geração, Transmissão e Distribuição*, 2008.
- [2] R. C. C. Rocha, R. C. Berrêdo, R. A. O. Bernis, E. M. Gomes, F. Nishimura, L. D. Cicarelli, e M. R. Soares, “New technologies standards, and maintenance methods in spacer cable systems,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 17, no. 2, pp. 562–568, 2002.
- [3] B. Wareing, “Wood pole overhead lines,” *Inst. Eng. Technol. Power Energy Ser.*, no. 48, 2008.
- [4] L. C. Hartmann, L. E. Linero, G. C. Silva, F. Piazza, e M. Munaro, “Desenvolvimento de nova metodologia para avaliação de equipamentos e acessórios de redes protegidas sob condições de multiestressamento,” *Espaço Energia*, n. 09, Out. 2008.
- [5] D. R. De Mello e G. C. Gonzalez, “Redes Compactas de Distribuição – O Problema da Compatibilidade Dielétrica,” in *Proc. 2006 Congreso Internacional de Distribución Eléctrica*, 2006.
- [6] F. H. Molina, G. F. Vasconcelos, M. A. A. Menezes, P. C. B. Guimarães, S. L. S. Cabral, e W. pinheiro, “Redes de Distribuição com Cabo Coberto para Operação em Ambientes Agressivos da Orla Marinha,” *Relatório Técnico Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.*, 2010.
- [7] S. M. Alberti, L. G.P. Souza, M. Munaro, E. D. Kenny, E. Esmanhoto, L.E. Linero, L. C. Hartman, J. V. Novaes Junior, e G. M. Luz, “Avaliação dos Impactos da Poluição Atmosférica Correlacionada à Manutenção de Estruturas Utilizadas no Setor Elétrico,” in *Proc. II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica*, 2003.
- [8] F. Piazza, M. Munaro, P. Inone, J. Tomioka, G. C. Silva, G. P. Sousa, L. E. Linero, e L. C. Hartman, “Avaliação da geometria de acessórios de redes protegidas de distribuição considerando solicitações devido ao campo elétrico e ambiental,” in *Proc. XV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica*, 2002.
- [9] T. Leskinen e V. Lovrencic, “Finnish and slovene experience of covered conductor overhead lines,” *CIGRE, B2–207*, 2004.

- [10] Committee of Electric Conductors and Accessories- IEEE Power Chapter-México Section, "Aerial Compact Network System in Places with High Pollution Levels," *26th Summer Power Meeting: Industrial Applications*, Acapulco, Guerrero, México, July 2013.
- [11] N. Yoshimura, S. Kumagai, e B. Du. "Research in Japan on the tracking phenomenon of electrical insulating materials", *IEEE El. Ins. Magazine*, v. 13, n. 5, p. 8-19, 2009.
- [12] J. Y. Li, C. X. Sun, and S. A. Sebo. "Humidity and contamination severity impact on the leakage currents of porcelain insulators", *IET Gen. Transm. Distribution*, v. 5, n. 1, p. 19-28, 2011.
- [13] G. C. Silva, F. Piazza, M. Munaro, "Field behavior on polymer-covered overhead conductors submitted to natural aging on diverse weather and geographic conditions in Brazil", *IEEE Trans. Power Delivery*, v. 24, n. 3, p. 1651-1656, 2009.
- [14] I. R. Vázquez and F. P. E. Cortés, "Electric-Field Analysis of Spacer Cable Systems for Compact Overhead Distribution Lines," in *Proc. 2012 IEEE Transactions on Power Delivery*, pp. 2312-2317, 2012.
- [15] F. P. Espino-Cortés, I. Ramirez-Vázquez, P. Gómez, e V. A. Heredia. "Performance of a Spacer Cable System Under Polluted Conditions," *IEEE El. Ins. Magazine*, v. 30, n. 6, p.13-19, 2014.
- [16] F. P. Espino-Cortés, I. Ramirez-Vázquez, e P. Gómez. "Electrical Field Analysis of Spacer Cable Systems under Polluted Conditions", *IEEE El. Ins. Conference*, p. 231-234, 2014.
- [17] A. M. Nóbrega, M. L. B. Martinez, e A. A. A. de Queiroz. "Investigation and Analysis of Electrical Aging of XLPE Insulation for Medium Voltage Covered Conductors Manufactured in Brazil", *IEEE Trans. on Dielect. and El. Insulation*, v. 20, n. 2, p. 628-640, 2013.
- [18] W. Que and S. A. Sebo, "Electric Field and Potential Distributions along Dry and Clean Non-Ceramic Insulators," in *Proc. 2001 Electrical Insulation Conf. and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conf.*, pp. 437-440.
- [19] W. Que and S. A. Sebo, "Electric Field and Potential Distributions along Non-Ceramic Insulators with Water Droplets," in *Proc. 2001 Electrical Insulation Conf. and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conf.*, pp. 441-444.
- [20] S. L. F. Santos, "Avaliação de isoladores através de simulação computacional," Trabalho de Conclusão de Curso, *Dept. de Eng. Elétrica, Univ. Federal do Paraná*, Curitiba, 2009.
- [21] M. T. Hagh, M. A. Gashangpour., e K. R. Milani, "Design and Mass Production of Medium Voltage Spacers," *22nd International Conference on Electricity Distribution - CIREDE*, paper 1315, 2013.
- [22] A. Mujezinović, A. Čarsimamović, S. Čarsimamović, A. Muharemović e I. Turković, "Electric field calculation around of overhead transmission lines in Bosnia and Herzegovina," *2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Gothenburg, pp. 1001-1006, 2014.
- [23] D. F. Reis, I. J. S. Lopes, e E. J. Silva, "Effects of Contamination in the Electric Field Distribution on Polymer Insulators: An Experimental and Computational Investigation," *20th International Symposium on High Voltage Engineering*, Argentina, 2017.
- [24] "Especificação de Espaçador, Separador e Amarrações para Rede Compacta 13,8 kV a 34,5 kV," *ABRADEE*, s. d. (CODI-3.2.18.24.1), Rio de Janeiro - Brasil.
- [25] S. Ribeiro Jr., M. A. Brenner, F. I. Carvalho, A. S. Mendes, D. B. Araujo, A. P. Dadam, e M. Munaro, "Development of a multi stress chamber applied to polymeric equipment of electrical distribution networks," *Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 2016 IEEE/PES, 2016.
- [26] G. C. da Silva, M. Munaro, S. Ribeiro Jr, D. B. Araujo, A. P. Dadam, F. M. D'Aquino, M. H. Oka, "Different configurations of spacer cable system under multiple stress tests," *Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 2016 IEEE/PES, 2016.
- C. de Salles, A. M. de Nobrega, M. L. B. Martinez, E. L. Batista, J. Uchoa, e H. de Oliveira, "Dielectric Compatibility of Distribution Network Spacer System", *21st International Conference on Electricity Distribution*, CIREDE, paper 1222, pp. 1-4, Frankfurt, 6-9 June 2011.



Signie L. F. Santos possui graduação em Engenharia Elétrica (2009) pela Universidade Federal do Paraná - UFPR e mestrado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Potência (2013) pela mesma Universidade. Atualmente é Pesquisadora dos Institutos Lactec, Professora na Faculdade Estácio e aluna de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PIPE) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica com ênfase nas áreas de Redes de Distribuição, Transformadores, Reguladores de Tensão e Simulação Computacional de Campos Elétricos e Magnéticos e de Transitórios em Sistemas de Potência.



Fabio S. Richart possui graduação em Tecnologia de Polímeros pela Sociedade Educacional de Santa Catarina (SOCIESC) na Faculdade de Tecnologia Tupy (2010) e mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais pela Universidade Federal do Paraná (2013). Profissionalmente, atua como pesquisador nos Institutos Lactec. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais, com ênfase em materiais poliméricos e processamento de polímeros, atuando principalmente nos temas: desenvolvimento de materiais poliméricos, compósitos poliméricos, nanocompósitos e caracterização de materiais.



Guilherme C. da Silva tem graduação em Engenharia Industrial Elétrica pela Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB (1997), mestrado (2000) e doutorado (2005) em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Paraná - UFPR/PIPE e especialização em Administração Estratégica e Gestão da Qualidade pelo Instituto Brasileiro de Pós Graduação e Extensão - IBPEX (2008). Atualmente é pesquisador e professor do Mestrado Profissionalizante nos Institutos Lactec. Atua na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Materiais Dielétricos, nos seguintes temas: envelhecimento e degradação de sistemas de isolamento de equipamentos elétricos, controle de qualidade de materiais; e desenvolvimento de materiais aplicados ao setor.



Alessandro P. Dadam tem bacharelado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1994) e mestrado Engenharia Mecânica em Ciências Térmicas pela mesma universidade (2005). Atualmente é engenheiro na CELESC Distribuição S. A. e tem experiência nas áreas de especificação, desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias de materiais e equipamentos.



Sebastião Ribeiro Jr tem bacharelado em Tecnólogo Eletrotécnico (2003), mestrado em Engenharia Biomédica (2008) e doutorado em Engenharia Biomédica (2013) pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Atualmente é pesquisador nos Institutos Lactec. Trabalha na área de materiais dielétricos, ensaios destrutivos e não-destrutivos, instrumentação, sensores e transdutores, segmentação e processamento de imagens.



Edemir L. Kowalski possui graduação em Física pela Universidade Federal do Paraná (1994), mestrado (2003) e doutorado (2006) em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Paraná (2003). Atualmente é professor de ensino superior - PRODETEC, professor da Universidade Federal do Paraná e Pesquisador do Institutos LACTEC. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Materiais Dielétricos e Propriedades Dielétricas.



Marilda Munaro. possui graduação em Química pela Universidade Federal do Paraná, mestrado (2000) e doutoramento (2007) em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Paraná. Atualmente é professora colaboradora do programa de pós graduação PIPE- UFPR. Suas áreas de interesse são materiais polimérico, compósitos, nanocompósitos, degradação de materiais poliméricos e desenvolvimento de novos materiais.