



PRPG | Pró-Reitoria de Pós-Graduação
PIBIC/CNPq/UFPG-2009

MAPEAMENTO DE CAMPO ELÉTRICO EM ISOLADORES POLIMÉRICOS

Pablo Bezerra Vilar¹, Edson Guedes da Costa²

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar um mapeamento da temperatura em isoladores poliméricos classe 15 kV, de pino, utilizados em sistemas de distribuição de energia elétrica. Além do isolador em condições ideais, foi simulado também um isolador com uma cavidade interna na qual acontecem descargas de diferentes intensidades. Para tanto, foi utilizado o software AutoCAD[®] para a modelagem gráfica dos isoladores, além do software Comsol Multiphysics[®] que, permitiu a estimação das grandezas elétricas e térmicas. As simulações baseiam-se no método dos Elementos Finitos.

Palavras-chave: isoladores poliméricos, mapeamento de temperatura, método dos Elementos Finitos.

POLYMERIC INSULATORS ELECTRIC FIELD MAPPING

ABSTRACT

This study aimed to carry out a mapping of temperature in 15 kV polymeric insulators, used in distribution power systems. The insulator in ideal conditions was simulated, as well as a situation with internal voids with different levels of discharges. The software AutoCAD[®] was used to make the insulators graphical models, and the Comsol Multiphysics[®] software, allowing the estimation of termical quantities. The simulations were based on the finite element method.

Keywords: polymeric insulators, temperature mapping, finite element method

INTRODUÇÃO

O sistema de energia elétrica necessita de isolamentos elétricos eficientes para que possa reduzir as perdas de energia e proporcionar uma transmissão contínua e com tensão elevada. Nas linhas de transmissão, o isolamento é realizado através de isoladores elétricos, que devem segregar regiões com tensões elétricas diferentes, além de suportar e fixar os condutores nas linhas de transmissão.

Entre os diversos tipos de isoladores elétricos, os isoladores poliméricos, vêm tendo destaque recente e abrangendo uma parte bastante significativa do mercado. Os isoladores poliméricos apresentam muitas vantagens, entre as quais podem-se citar o peso reduzido, o excelente desempenho sob poluição, a sua hidrofobicidade superior, o seu menor custo de instalação e a maior resistência a choques mecânicos (AMIM,2005). A última característica citada é particularmente importante devido à ação do vandalismo, que em determinadas regiões é acentuado.

Entretanto, os isoladores poliméricos apresentam algumas desvantagens que são relevantes quando comparados aos seus antecessores. Uma delas é o conhecimento ainda limitado do seu processo de envelhecimento, que dificulta a detecção de suas possíveis falhas, e o fato de os isoladores poliméricos não serem tão resistentes a altas temperaturas quanto os isoladores cerâmicos. Outra desvantagem é que tanto as ligações C-C do EPDM quanto às ligações Si-O da borracha de silicone (materiais mais usualmente empregados na construção dos isoladores) são muito suscetíveis a danos devido à formação de arcos

¹ Aluno do Curso de Engenharia Elétrica, Depto. de Engenharia Elétrica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: pablo.vilar@ee.ufcg.edu.br

² Engenheiro Eletricista, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Elétrica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: edson@dee.ufcg.edu.br

voltaicos (AHMED, 1999). Por isso, os isoladores poliméricos merecem mais atenção quanto a sua manutenção preventiva (YAMAMOTO, 2005).

No presente, muitas técnicas estão sendo desenvolvidas, seja para estudar como os isoladores poliméricos defeituosos agem nas linhas de transmissão, seja para determinar os locais onde se encontram os defeitos e prever possíveis falhas. Entre as técnicas desenvolvidas pode-se citar a radiografia, a termografia, a detecção de radiação ultravioleta e o mapeamento do campo elétrico.

A técnica da determinação do campo elétrico, ou a determinação da distribuição de potencial elétrico, são muito importantes por auxiliarem na determinação de pontos com probabilidade de ocorrências de falhas ou de aceleração da degradação.

Ao longo de um ano e meio de execução deste trabalho, buscou-se através de simulações computacionais utilizando os softwares Autocad® e Comsol Multiphysics®, mapear o campo elétrico em isoladores de pino classe 15 kV. Os isoladores foram simulados em situações ideais de operação e na presença de agentes externos corriqueiros, como gotículas de água, defeitos no cabo condutor (advindo de erosão elétrica, por exemplo), presença de defeitos de fabricação (especialmente cavidades gasosas em seu interior) e as falhas de instalação mais comuns. Os modelos utilizados nas simulações foram evoluindo com o passar do tempo, e os resultados foram importantes na compreensão do fenômeno da degradação, bem como de indicativos das regiões mais eletricamente vulneráveis do equipamento.

Dando continuidade ao trabalho, estudou-se o aquecimento e a distribuição de temperatura a qual um isolador semelhante ao das simulações anteriores é submetido quando operando em sua tensão de trabalho.

Os resultados obtidos apresentam grande importância, uma vez que a temperatura influencia na degradação dos isoladores poliméricos, assim como quase todos os fenômenos físicos e químicos conhecidos. No entanto não é possível tomar os valores de temperatura encontrados nas simulações como parâmetros reais e constantes, uma vez que esses valores são fortemente influenciados pelos materiais envolvidos. Na prática, esses materiais variam de acordo com o fabricante e a matéria prima do isolador, assim como com as condições ambientais.

O valor do trabalho está nos aspectos qualitativos e didático, uma vez que os métodos empregados podem ser adaptados aos materiais e às condições ambientais envolvidas. Vale salientar ainda que muito embora os valores de temperatura variem de caso para caso, a distribuição de temperatura obedece a um padrão, que fica evidenciado nos resultados obtidos.

Foi simulado ainda um caso com o intuito de investigar o aquecimento decorrente de descargas parciais (DP) no interior de cavidades preenchidas com ar. Entretanto, como não é possível caracterizar uma descarga no ambiente computacional utilizado, a mesma foi simulada por uma fonte de calor variável no interior da cavidade, com o objetivo de simular diferentes níveis de descargas. O posicionamento da cavidade foi escolhido com base nos resultados obtidos ao longo do trabalho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Isolador Polimérico

Os isoladores possuem um papel extremamente importante em um sistema elétrico. Eles são utilizados com a função de manter a distância de isolamento entre duas estruturas com potenciais elétricos diferentes. Os isoladores podem assumir vários formatos e tamanhos, em função das exigências mecânicas, elétricas e ambientais a que serão submetidos. São tradicionalmente fabricados com três tipos distintos de materiais: polímeros, porcelana e vidro. A seguir, na Figura 1, são apresentados alguns isoladores, de diversos tamanhos e formatos.



Figura 1 - Fotografia de diversos modelos de isoladores poliméricos.

Estima-se que o isolador polimérico possua uma vida útil de trinta a quarenta anos, enquanto existem isoladores cerâmicos (vidro e porcelana) operando há noventa anos, ininterruptamente. A estrutura do isolador polimérico é composta por um núcleo constituído de fibra de vidro reforçada, saias, um revestimento polimérico e ferragens terminais. O revestimento polimérico é um composto orgânico, e sua interação com o meio ambiente se dá de maneira dinâmica.

O núcleo do isolador polimérico é constituído de uma haste de fibra de vidro reforçada, e tem como função suportar os esforços mecânicos e elétricos provenientes do condutor. Já o revestimento polimérico é responsável pela proteção do núcleo de fibra de vidro da umidade, contaminadores químicos e radiação ultravioleta. O revestimento polimérico possui aletas que garantem a distância de escoamento do isolador. Além disso, o polímero é hidrofóbico, ou seja, dificulta o acúmulo de água em sua superfície. As ferragens terminais transmitem dos esforços mecânicos do condutor ao o núcleo, realizando, desta forma, as ligações: condutor/isolador e isolador/estrutura. Na Figura 2 pode-se observar a estrutura de um isolador polimérico.

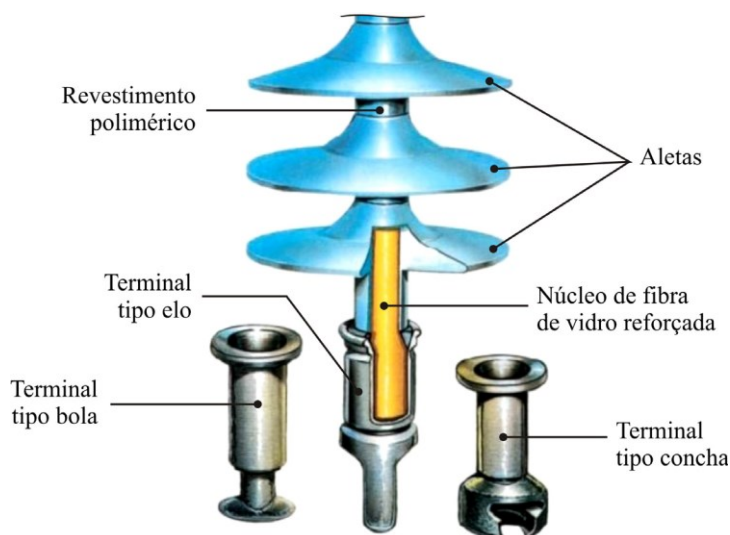


Figura 2 - Estrutura de um isolador polimérico.

Apesar do isolador polimérico ser uma tecnologia relativamente nova quando comparado aos demais tipos de isoladores, ele possui um alto grau de aceitação no mercado devido as suas várias vantagens já citadas. Algumas dessas vantagens podem ser evidenciadas simplesmente notando-se que o isolador não cerâmico apresenta um peso reduzido, o que facilita a sua instalação. Porém, os isoladores poliméricos apresentam algumas desvantagens, como: a pouca intercambiabilidade; o conhecimento restrito sobre o seu processo de envelhecimento; a difícil detecção de falhas em seu interior; baixa flexibilidade longitudinal em alguns casos; e as técnicas de manutenção em linhas vivas não estão totalmente desenvolvidas.

Como apresentam um tamanho reduzido, os isoladores poliméricos têm permitido a compactação e minimização dos custos finais das linhas de transmissão, pela redução da largura da faixa de servidão. No entanto, faz-se necessário estudar o processo de envelhecimento do equipamento, e obter uma forma eficiente de detectar as falhas do isolador polimérico.

O Método dos Elementos Finitos

O método dos Elementos Finitos, também conhecido por MEF, foi inicialmente desenvolvido por Alexander Hrennikoff (1941) e Richard Courant (1942), e é utilizado para se obter soluções aproximadas de equações diferenciais parciais e de equações integrais em situações onde é impossível (ou extremamente complicado) obter-se uma solução analítica exata (NORIE, 1978 e MORI, 1983). A aproximação é baseada na eliminação completa das equações diferenciais, ou ainda na transformação das equações diferenciais parciais em um sistema de equações diferenciais ordinárias, ou seja, há uma subdivisão do problema em diversos problemas menores e correlatos.

O MEF é indicado para a obtenção da solução de equações com um domínio complexo, e equações cuja solução varia de acordo com a variação do domínio. Porque o método divide os problemas complexos em diversos problemas menores (WATERMAN, 2008), e devido à redução do custo computacional, o MEF passou a ser amplamente utilizado, e tem apresentado resultados muito precisos, satisfazendo a necessidade do problema a que o método é aplicado. Por possuir como características a flexibilidade e estabilidade numérica, o método dos Elementos Finitos pode ser implementado na forma de um sistema computacional de forma consistente e metódica.

Comsol Multiphysics®

COMSOL Multiphysics® é um software desenvolvido para análise de problemas físicos, modelagem e simulação. Ele foi criado baseando-se na teoria do método dos Elementos Finitos, ou seja, trabalha realizando aproximações das soluções de equações diferenciais parciais.

As principais vantagens do software são sua robustez e a possibilidade de construir diretamente o objeto a ser estudado. Após o desenho do modelo, as constantes e grandezas físicas são diretamente atribuídas às regiões do mesmo, não sendo necessária a construção das equações do MEF ou a criação de algoritmos de solução.

O COMSOL Multiphysics® também permite uma visualização das soluções das mais variadas formas, entre elas os mapas de cores e a representação da solução por linhas equipotenciais. Além dessas características, o software ainda possui módulos que servem para que as equações que o compõem se encontrem de forma organizada, separadas por áreas.

Para obter as soluções de problemas utilizando este software, necessita-se definir a geometria da região onde o problema deve ser resolvido, indicando as características elétricas de cada sub-região e as condições de contorno. Devido à simetria axial dos isoladores, é possível desenhar apenas metade das seções longitudinais dos seus componentes. A UFCG adquiriu uma licença para a sua utilização.

MATERIAL E MÉTODOS

A distribuição de campo elétrico em uma superfície complexa como a de um isolador é regida por equações diferenciais parciais cuja solução analítica é quase sempre impraticável. A melhor forma de contornar o problema é a aplicação de um método numérico para solução do problema. O método escolhido no trabalho foi o método dos Elementos Finitos (MEF) e ele foi aplicado com auxílio do software COMSOL Multiphysics®. No entanto, como ele apresenta ferramentas de desenho, bastante limitadas, foi utilizado o software de desenho técnico Autocad® para construção do modelo geométrico da simulação. O Autocad® apresenta ferramentas de desenho mais complexas, que permitem a construção de um modelo mais fiel, agregando verossimilhança aos resultados obtidos.

Na primeira metade deste trabalho, cujos resultados foram apresentados no relatório parcial entregue no início do ano, determinou-se a região do isolador mais susceptível a descargas parciais, decorrentes de cavidades gasosas no interior do isolador. Isto foi possível através da análise da distribuição do campo elétrico, obtido nas simulações feitas.

O modelo de isolamento utilizado na ocasião está representado na Figura 3. O modelo é constituído de um conjunto de 23.744 elementos. Elementos são unidades nas quais o software COMSOL Multiphysics® subdivide o problema para aplicação do MEF. O número de elementos elevado não representou dificuldade para o cálculo da distribuição de campo elétrico em regime permanente, uma vez que o mesmo empregava apenas um módulo, e não era dependente da variação do tempo. No entanto, para o cálculo da distribuição de temperatura, decorrente da aplicação de um potencial elétrico em regime transitório, é necessário concatenar os resultados de dois módulos, ambos dependentes do tempo. Isto que resulta num custo computacional muito mais elevado, o que impossibilitou a utilização do mesmo modelo. O modelo foi então simplificado, para se adequar a nova realidade.

O modelo de isolador utilizado nas simulações de distribuição de temperatura está representado na Figura 4 e é composto de 11.931 elementos. Pode se perceber que houve uma simplificação considerável do problema. No entanto, as partes simplificadas (a rosca e o parafuso) não influenciam fortemente na distribuição do calor no interior do isolador, uma vez que não se situam na região crítica de concentração do campo elétrico, em condições normais. Nas análises do campo elétrico em isoladores, instalados de maneira errada em campo, como as mostradas no relatório parcial, as regiões de rosca e de parafuso apresentam concentrações de campo significativas, portanto, não poderiam ser desprezadas.

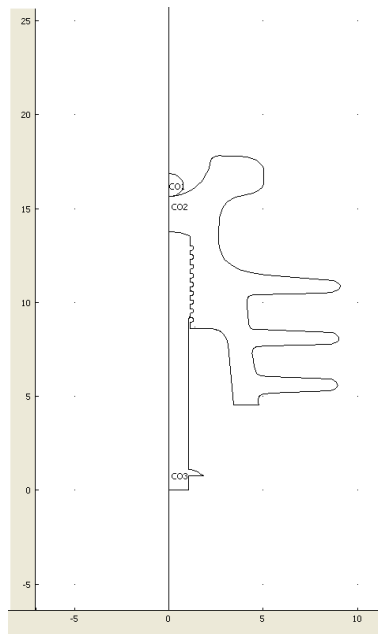


Figura 3 - Modelo do isolador utilizado nas simulações para determinação da distribuição de campos elétricos.

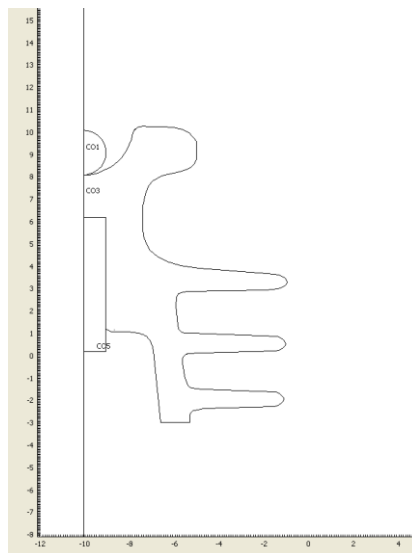


Figura 4 - Modelo de isolador utilizado nas simulações para determinação da distribuição de temperatura.

Mesmo com o modelo mais simplificado do isolador, o processo de desenvolvimento de uma simulação que forneça dados térmicos a partir de dados elétricos é muito mais complexo do que o desenvolvimento das simulações anteriores. Assim, antes de conseguir uma simulação com resultados verossímeis da distribuição de temperatura em um isolador, foi preciso construir um conjunto simulações didáticas com grau de dificuldade crescente. Inicialmente, foram feitas simulações de configurações básicas com o intuito de consolidar a aprendizagem e a validação dos resultados obtidos. Passo a passo as configurações foram se tornando mais complexas. Assim, ao longo do trabalho, várias simulações didáticas foram construídas. As que apresentaram maior relevância consistem em:

- 1) Dois Blocos idênticos, em forma e constituição, submetidos uma diferença de potencial.
- 2) Dois Blocos com formas idênticas aos da simulação anterior, com a condutividade térmica de um deles reduzida à metade.
- 3) O sistema representado na Figura 5, constituído por: as placas A e B (constituídas de mesmo material), submetidas a uma diferença de potencial; um bloco C, de um material diferente; todos imersos num material D. Neste primeiro caso a resistividade elétrica do bloco C é definida como sendo um valor muito menor que a resistividade do material D.
- 4) O mesmo sistema anterior, com a resistividade do bloco C definida como um valor muito maior que a do material D.

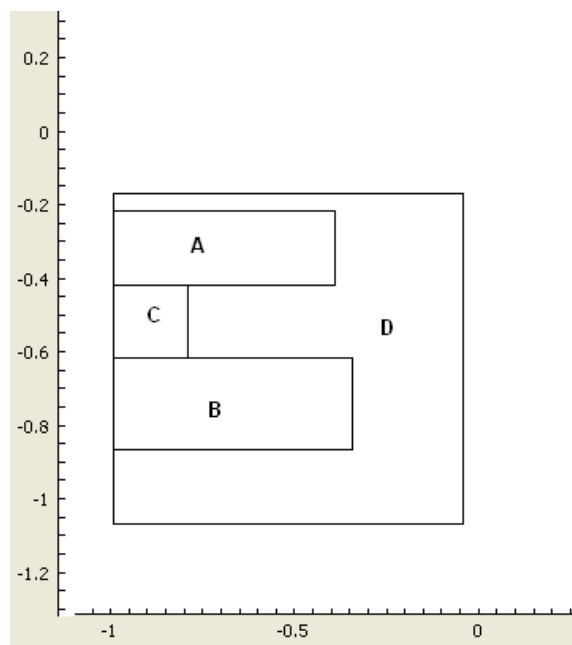


Figura 5 - Modelo geométrico utilizado nas simulações didáticas 3 e 4

Ao final das simulações, foi possível produzir uma simulação com um isolador propriamente dito. Inicialmente definiu-se a tensão a ser aplicado ao sistema. O isolador polimérico estudado é tipo pino, classe 15 kV. No Brasil, as linhas operam com tensão de 13,8 kV que é o valor da tensão entre duas fases de um sistema trifásico. Como o isolador está instalado em uma cruzeta aterrada, a tensão imposta aos seus terminais é dada pela equação:

$$V_{ap} = \frac{V_l}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

onde, V_l é a tensão entre duas fases do sistema, e V_{ap} é a tensão a qual o isolador esta submetido. Neste caso, o valor encontrado é de aproximadamente 8 kV.

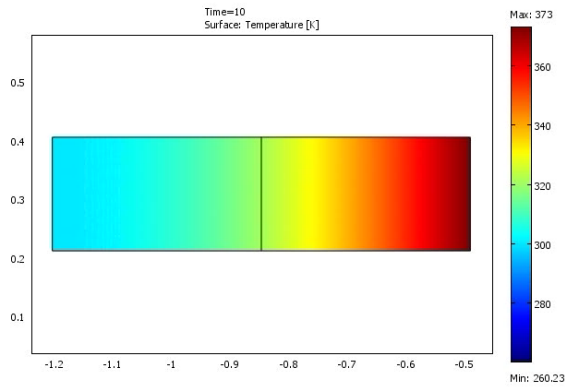
Os parâmetros dos materiais no modelo mostrado na Figura 4 foram pesquisados e simulou-se o caso do isolador em condições ideais. Para a simulação do caso de um isolador com uma cavidade interna, inicialmente pretendia-se colocar a cavidade na região com maior probabilidade de incidência de descargas. No entanto, esta região coincide com a região em que o isolador mais se aquece em condições naturais, o que ficou evidenciado na análise do resultado da simulação do isolador em condições ideais. Por isso, a cavidade foi definida um pouco a baixo desta região. Isto evitou que o calor produzido pela fonte no interior da cavidade mascarasse o calor produzido no isolador. A nova região em que a cavidade foi colocada também foi analisada no primeiro semestre deste trabalho, como respeito aos efeitos do campo elétrico e os resultados apresentaram boa probabilidade de incidência de descargas.

Mason (1978) relata que o tamanho típico de cavidades em isoladores é de cerca de 0,33 mm de diâmetro. No entanto, a cavidade neste caso foi superdimensionada propositalmente (5 mm de diâmetro), uma vez que uma cavidade muito pequena exigiria um refinamento maior da malha de elementos. Isto aumentaria o custo computacional e, em alguns casos, inviabilizaria o processo de simulação.

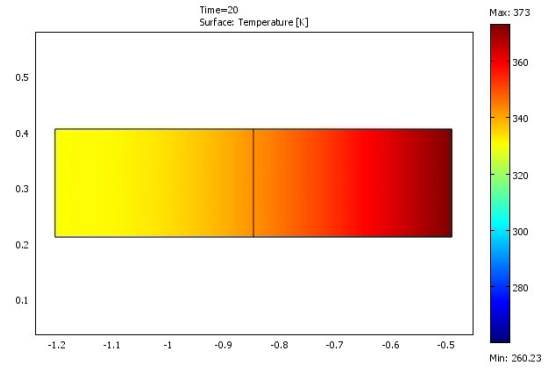
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados das simulações didáticas

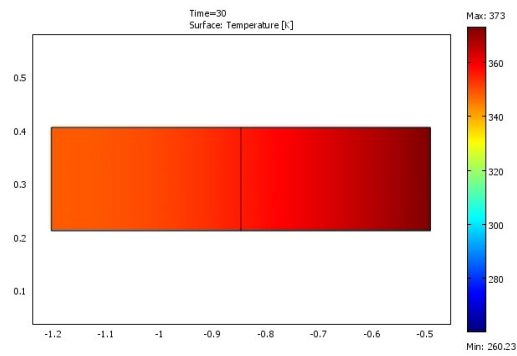
As simulações didáticas 1 e 2 consistiam em um sistema muito simples onde os blocos se aquecem devido à diferença de potencial entre eles (fenômeno conhecido por efeito Joule). O valor inicial da temperatura dos blocos foi igual a 273,15 K. Nas Figuras 6(a), 6(b) e 6(c), pode-se ver a distribuição de temperatura decorrido um tempo de 10, 20 e 30 s, respectivamente. As Figuras 7(a), 7(b) e 7(c) mostram as distribuições de temperatura, nos mesmos tempos, para a Simulação 2.



(a)

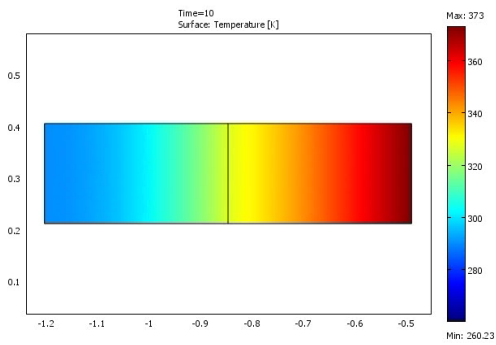


(b)

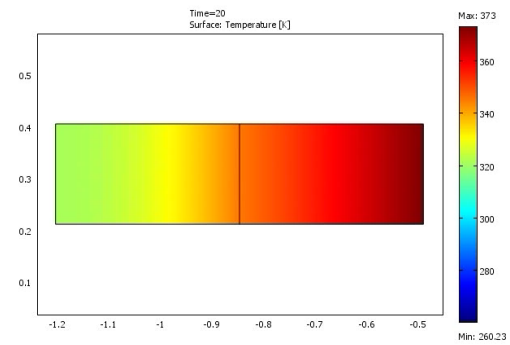


(c)

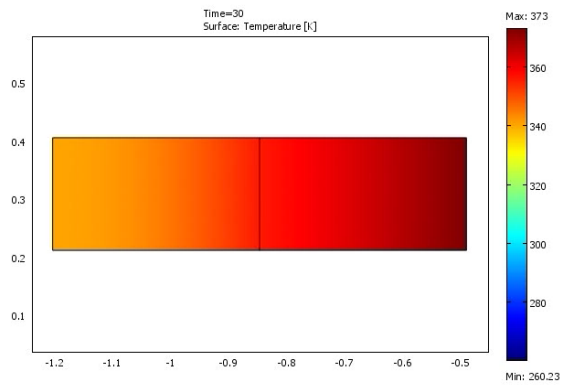
Figura 6 - Distribuição de temperatura na Simulação 1 decorridos (a) 10 s; (b) 20 s e (c) 30s.



(a)



(b)



(c)

Figura 7 - Distribuição de temperatura na Simulação 2, decorridos (a) 10 s; (b) 20 s e (c) 30s.

Analisando os resultados, é possível observar que na Simulação 1 a propagação de calor acontece numa mesma taxa em ambos os blocos. Contudo, na segunda simulação, a taxa de propagação de calor no bloco da esquerda é inferior à do bloco da direita. Tal fato era esperado, já que o bloco da esquerda foi definido propositalmente como tendo uma constante de condutividade térmica inferior ao da direita.

Outra observação importante é a comparação dos resultados das Simulações 1 e 2, onde se pode perceber que, conforme o esperado, o bloco da esquerda apresenta temperaturas inferiores na Simulação 2, uma vez que neste caso o calor demora mais para se difundir.

Nas Simulações 3 e 4 o parâmetro variado foi a resistividade elétrica dos materiais C e D. Nas Figuras 8 e 9 são apresentados os resultados das simulações, decorrido um tempo de 10 s de simulação.

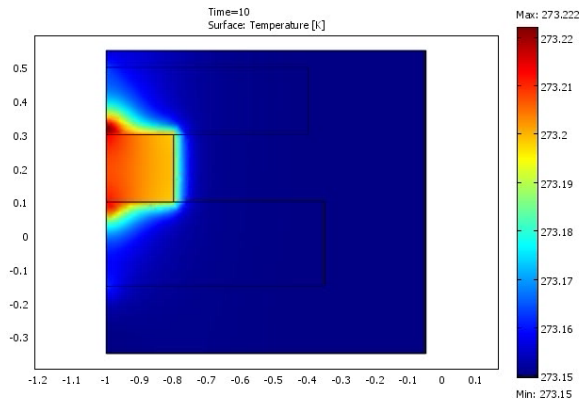


Figura 8 - Distribuição de calor na Simulação 3.

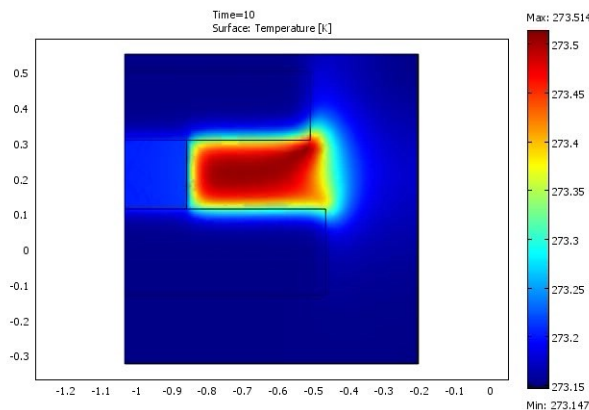


Figura 9 - Distribuição de calor na Simulação 4.

Quando dois materiais são submetidos a uma mesma diferença de potencial o aquecimento será maior no material que apresentar a menor resistência elétrica. Com o intuito de estudar os mecanismos de simulação e a sua validação, esta condição foi simulada. Na Simulação 3, o bloco C apresenta uma resistividade elétrica menor, enquanto o material D apresenta a resistividade muito maior. O resultado da simulação mostrou que o bloco C se aqueceu bem mais. Comprovando que os mecanismos da simulação estavam corretos. Na Simulação 4, a condição inicial foi invertida e conseqüentemente os resultados também se inverteram, uma vez que neste caso o material D é quem apresenta uma menor resistividade.

Como as simulações iniciais apresentaram resultados satisfatórios, e a técnica de simulação foi completamente dominada, tornou-se possível produzir uma simulação utilizando isoladores propriamente ditos.

A primeira simulação utilizando isoladores consiste num isolador perfeito submetido a uma tensão de 8 kV. A simulação foi feita até que o isolador atingisse o estado de regime térmico, ou seja, até que a energia gerada pelo aquecimento fosse igual à energia perdida para o ambiente. Para definir quando o isolador atingiria o regime, estipulou-se na simulação intervalos de tempo de 100 s de duração e obteve-se a temperatura em um mesmo ponto a cada intervalo. O ponto escolhido foi (-10; 7,8), por facilidade de medição. Quando se constatou que a temperatura não variou ao longo de 3 intervalos de tempo consecutivos, o sistema térmico foi considerado em regime.

Assim, o regime térmico foi atingido com 6.800 s de simulação (cerca de uma hora e 53 minutos). Na Figura 10 o resultado da simulação para um isolador perfeito na condição de regime térmico é apresentado. A figura apresenta a simulação da distribuição de temperatura 7.000 s depois da aplicação da tensão. uma vez que esta foi a ultima simulação utilizada para definir se o sistema estava de fato em regime.

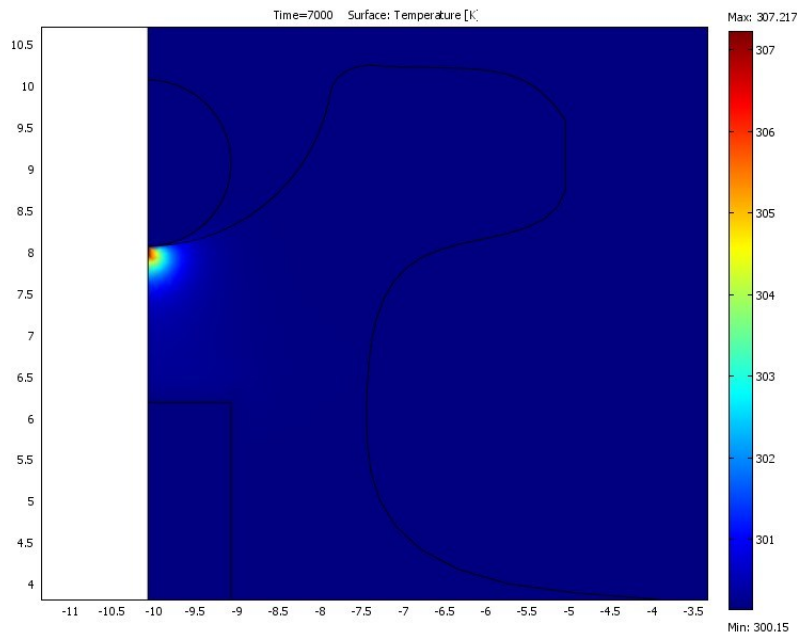


Figura10: Resultado da simulação para um isolador perfeito em regime.

Na Figura 11 o fluxo de energia térmica no interior do isolador é evidenciado, por linhas vermelhas.

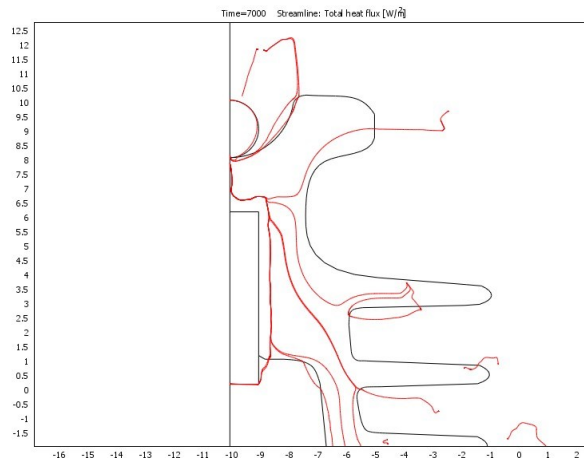


Figura 11: Fluxo de calor no interior do isolador.

Pode-se perceber que a região que mais aquece no isolador é região mais próxima do cabo condutor, que também serve de fonte de calor para todo o resto do sistema. Tal fato pode ser constatado uma vez que as linhas de fluxo de calor partem deste ponto e vão se dissipando ao longo do isolador. Assim, ela é a região que foi definida como sendo a de maior concentração de campo, uma vez que a mesma concentra pelo menos 2 fatores responsáveis pela degradação do isolamento. Torna-se claro que esta região merece maior atenção em estudos futuros.

As simulações seguintes são de isoladores com cavidades preenchidas por ar (bolhas). Para simular o efeito do aquecimento decorrente de descargas parciais, foi definida uma fonte de calor no interior da bolha. O tempo de simulação foi de 7.000 s. tendo em vista que o isolador se encontra em regime térmico.

Com o objetivo de estudar aos efeitos térmicos das descargas parciais nas bolhas foram simuladas diversas intensidades de fontes geradores de calor. Na Figura 12(a) tem-se uma cavidade com potência de 1 mW. Na Figura 12(b) usou-se uma potência de 10 mW, e na Figura 12(c), uma potência de 100 mW.

O aumento da potência da fonte de calor no interior da cavidade faz surgir temperaturas altas no interior da bolha. A Figura 13 mostra um gráfico da variação da temperatura em função da posição. Foi selecionado o perfil térmico vertical na extremidade esquerda da simulação com a fonte de 100 mW, Figura 12(c). Pode-se perceber na Figura 13 um pico menor de temperatura, que corresponde à temperatura da região próxima ao cabo, comprovando que aquela região ainda se aquece, mas não tanto quanto a cavidade.

A Figura 14(a) representa o fluxo de calor para uma cavidade com potência de 1 mW; a Figura 14(b) uma potência de 10 mW, e a Figura 14(c) uma potência de 100 mW. Analisando os gráficos do fluxo de calor, para diversas intensidades de fontes de potência, observa-se que eles obedecem ao mesmo padrão, partindo das fontes de energia térmica (região de contato entre condutor e cavidade), e se espalhando para outras regiões. Os resultados também evidenciam que as distribuições das linhas isotérmicas dentro do isolador são iguais, variando somente a magnitude da temperatura para cada fonte de calor.

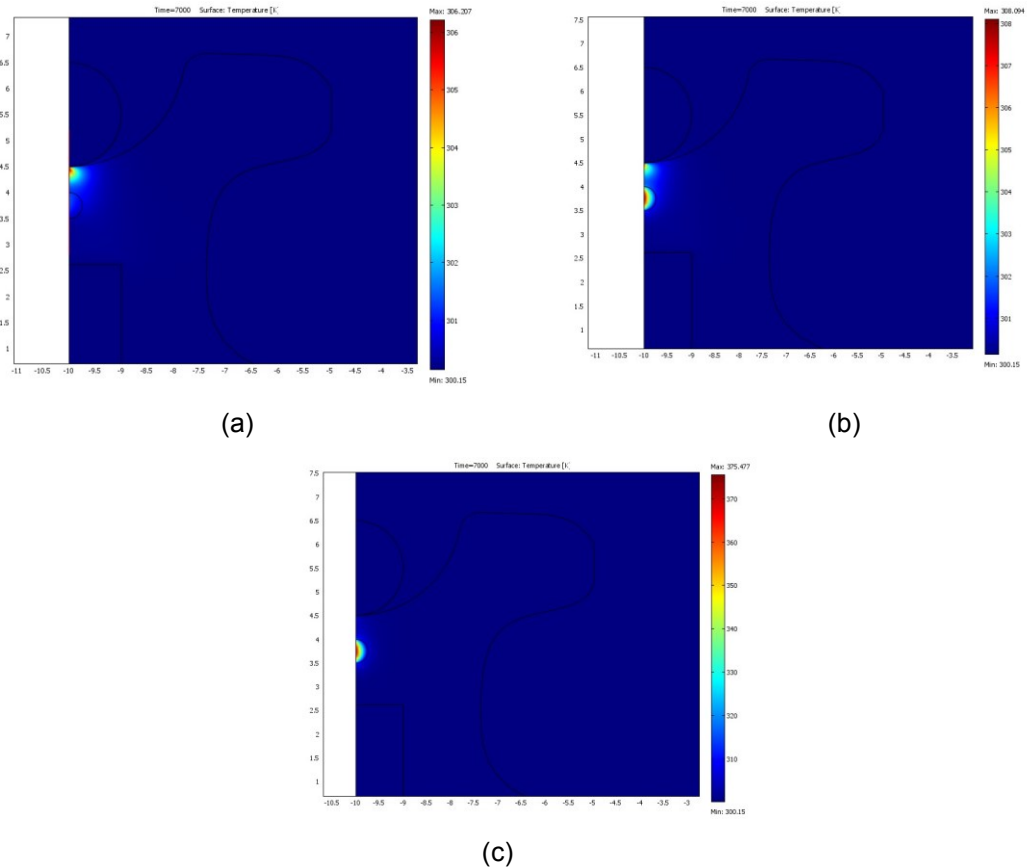


Figura 12 - Distribuição de temperatura para uma cavidade com uma potência de (a)1 mW, (b) 10 mW e (c)100mW.

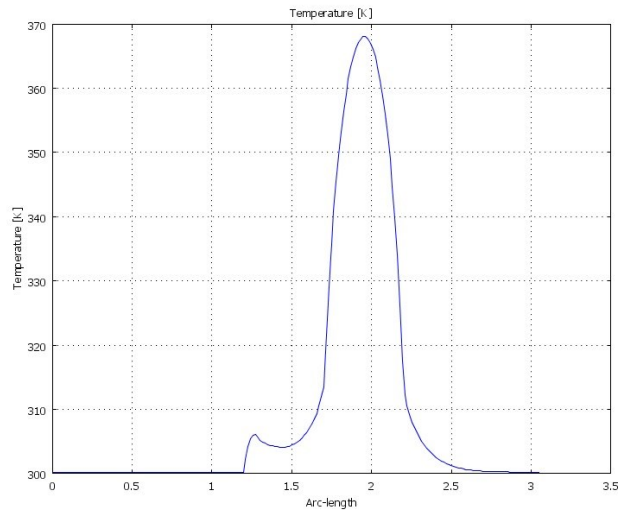
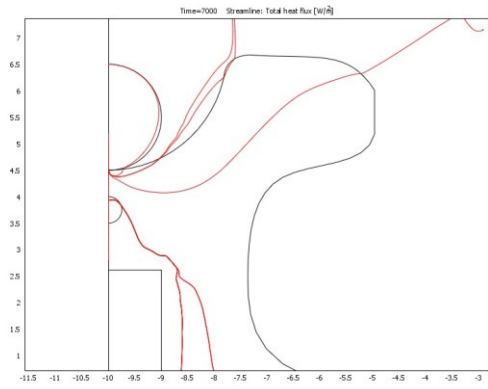
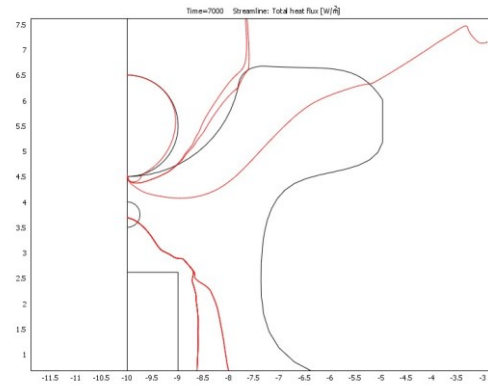


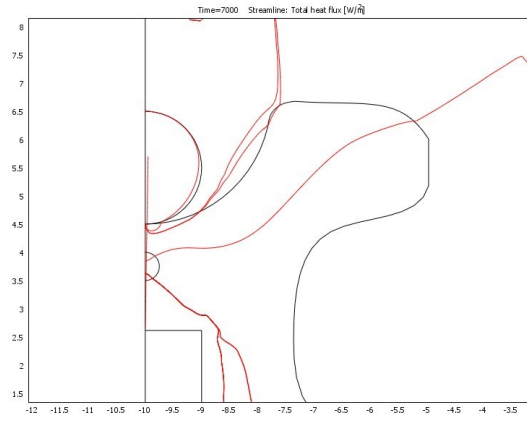
Figura 13 - Gráfico da temperatura versus a posição de um ponto na extremidade esquerda da simulação de uma cavidade com potência de 100 mW.



(a)



(b)



(c)

Figura 14 - Distribuição de temperatura para uma cavidade com uma potência de: a) 1 mW b) 10 mW (c) 100mW.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nas simulações pode-se concluir que os resultados apresentados são coerentes e que o método aplicado é eficiente para configurações não muito complexas.

Os resultados obtidos nas simulações com isolador perfeito mostram que a região com maior aquecimento coincide com a região de maior concentração de campo elétrico. Assim, ela merece grande atenção, uma vez que fica constantemente submetida a fatores degradantes do isolador.

Simulações com bolhas de ar apresentando descargas internas foram simuladas com vários níveis de potência. O resultado da simulação com cavidades mostra que descargas de pequena intensidade provocam um aquecimento muito inferior ao aquecimento natural do isolamento. No entanto, com o aumento da intensidade destas descargas, o aquecimento torna-se mais significativo, e a cavidade passa a ser a fonte de calor mais intensa no isolador. O resultados das simulações também mostraram que o isolador tende a se deteriorar mais intensamente na região de contato entre o cabo e o isolamento. Com o surgimento e intensificação de descargas parciais em seu interior, o isolador desenvolve uma segunda região de degradação, a qual se torna mais preocupante, uma vez que gera mais calor que a região junto ao condutor.

O caso mais severo ocorreria se a região de ocorrência das descargas parciais coincidissem com a região na qual o isolador apresenta maior atividade térmica, quando em operação. Nesta situação, as fontes de energia térmica se somariam, potencializando o processo de degradação do isolamento.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa de Iniciação Científica, e à Eletrobrás, pela implantação do LABIS através do convênio 082/2005.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIN, M., “Environmental aging of polymeric insulators in Pakistan”, in Proc. of 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials. June 5-9, 2005, Kiiakyushu. Japan.

AHMED, N., SRODAWA, R. and SRINIVAS, N. , “The Validity of Tracking Chamber Tests in Testing Silicone Rubber Insulators”, in Proc. of 1999 IEEE Transmission and Distribution Conference. April, 1999.

BLACKMORE, P., BIRTWISTLE, D. Surface Discharges on Polymeric Insulator Shed Surfaces. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Volume 4. Number: 2. April. 1997

COMSOL Multiphysics®. Los Angeles, Estados Unidos, 1997. Disponível na internet via URL: <http://www.comsol.com/>. Arquivo capturado em maio de 2008.

FERREIRA, T. V. Estudo do Trilhamento de Núcleo em Isoladores Poliméricos. Dissertação (Mestrado em Processamento de Energia) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Brasil. 2007.

HALL, J. F. History and bibliography of polymeric insulators for outdoor applications. IEEE Transactions on Power Delivery. Volume: 8 Number: 1. January. 1993.

MASON, J. H. “Discharges”. IEEE Trans. Electr. Insul., vol. 13, issue 3, pp. 211-238, Aug. 1978.

MATSUOKA, R., ISHIWARI, M., SHINOKUBO, H., KONDO, K.. Field Test Results of Polymer Insulators. 10th International Symposium on High Voltage Engineering. Montreal, Quebec, Canada. August. 1997

MORI, M. , “The finite element method and its applications”; Macmillan Publishing Company, 1983.

NORRIE, D. H., G. de Vries, “An Introduction to finite element analysis”. Academic Press, 1978.

PEREIRA, L. A. Método dos Elementos Finitos 2D Aplicado ao Eletromagnetismo. Disponível no sítio da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul na internet via URL:

http://diana.ee.pucrs.br/~lpereira/fem2000/FEM2D_Eletromagnetismo.pdf.

Arquivo capturado em maio de 2008.

QUEIROZ, I. B., COSTA, E. G., FERREIRA, T. V., NERI, M. G. G.. Análise da Deterioração de Isoladores Poliméricos Através do Comportamento Térmico.

QUEIROZ, I. B., COSTA, E. G.. Influência de Imperfeições na Superfície de Isoladores Poliméricos na Distribuição de Campo Elétrico. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Abril. 2008.

QUEIROZ, I. B., NERI, M. G. G., COSTA, E. G.. Mapeamento do Campo Elétrico em Isoladores Poliméricos com Defeitos. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Março. 2006.

SEIFERT, J. M., HUBL, W.. Hydrophobicity Effect of Silicone Housed Composite Insulators and its Transfer to Pollution Layers- Design and Environmental Parameters Influencing the Hydrophobic Surface Behavior. 2001 Iraklion Symposium. Kreta, Greece. April.2001.

YAMAMOTO, H. , ZHU,Y. , OTSUBOL,M. , HONDA,C. , TAKENOUCHI, O. , HASHIMOTO, Y. , OHNO, A. , “IEC 5000h multi-stress test on polymeric insulators”. Proceedings of 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials, June 5-9. 2005. Kitakyushu, Japan.

WATERMAN, P. J. , “Meshing: the Critical Bridge”, Desktop Engineering Magazine, Aug. 2008.
<http://www.deskeng.com/articles/aaakfj.htm>