

Deberá contener información (en toda la extensión) sobre:
**CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA
BRAZIL
E.**

CUIDADOS NA SELEÇÃO DE ISOLADORES POLIMÉRICOS – O PROBLEMA DA ADERÊNCIA

Autor/es: **DARCY RAMALHO DE MELLO, Engenheiro Eletricista, MSc**
Empresa u organismo: **CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA**
Cargo: **Pesquisador IV**

Autor/es: **ANA CLÁUDIA BALESTRO, Engenheira Eletricista**
Empresa u organismo: **INDÚSTRIA ELETROMECHANICA BALESTRO LTDA**
Cargo: **Engenheira**

DATOS DE LA EMPRESA

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Dirección: Avenida Olinda s/n - Adrianópolis

Localidad: Nova Iguaçu – Rio de Janeiro

Código Postal: 26053-121

País: Brazil

Teléfono: (55 21) 2666-6312

Fax: (55 21) 2667-3079

E-Mail: darcy@cepel.br

INDÚSTRIA ELETROMECHANICA BALESTRO LTDA

Dirección: Rua Santa Cruz, 1550, Santa Cruz

Localidad: Mogi – Mirim, São Paulo

Código Postal: 13800-440

País: Brazil

Teléfono: (55 19) 3814-9000

Fax: (55 19) 3814-9000

E-Mail: anaclaudia@balestro.com

Resumo

A maior parte dos isoladores poliméricos utilizados no setor elétrico são compostos, ou seja, são constituídos de pelo menos dois materiais isolantes, um núcleo e um revestimento, e equipados com ferragens integrantes metálicas em pelo menos uma de suas extremidades.

O núcleo é a parte isolante central de um isolador, projetada para suportar as cargas mecânicas do isolador e é formada, usualmente, por fibras de vidro posicionadas numa matriz a base de resina sintética, de forma a se obter a máxima resistência à tração, por seção. O núcleo não deve ficar submetido às condições ambientais do local onde o isolador deve ser instalado e assim sendo, deve ser coberto com um revestimento que, além de proteger o núcleo das intempéries, principalmente no que diz respeito à penetração da umidade e solicitações ambientais, tem como finalidade assegurar uma adequada distância de escoamento ao isolador, proporcionando um isolamento elétrico adequado entre os terminais metálicos.

Este revestimento deve ficar fortemente aderido ao núcleo, garantindo uma perfeita estanqueidade contra a penetração de umidade. Caso contrário poderá ocorrer o aparecimento de descargas parciais na interface dos materiais, causando a deterioração do revestimento e conseqüentemente a exposição do núcleo, que pode romper devido à fratura frágil, ou ainda poderá ocorrer uma descarga disruptiva que percorre toda a região não aderida, danificando o núcleo.

Este artigo mostra os problemas surgidos devido à falta de aderência tanto nas interfaces entre núcleo, revestimento e ferragens integrantes quanto no corpo do isolador e também os diversos procedimentos utilizados pelos fabricantes para garantir a aderência e a estanqueidade necessárias, além de propor uma nova metodologia de ensaio para fazer a avaliação correta da qualidade da aderência nas diversas interfaces existentes em um isolador polimérico.

Este artigo aborda também o uso de cobertura total ou de parte das ferragens integrantes com o revestimento do núcleo, fato este questionado por alguns usuários de isoladores poliméricos, devido a problemas de aderência entre o revestimento e as ferragens integrantes, mas que apresenta diversas vantagens frente aos procedimentos usuais.

1. Introdução

Os isoladores poliméricos podem ser compostos ou não. Os isoladores não compostos são constituídos somente por um material polimérico, seja uma resina (caso do epóxi ou do concreto polimérico) ou um polímero (caso do polietileno), enquanto que os compostos são constituídos de, pelo menos, dois materiais isolantes, um núcleo e um revestimento. O núcleo é composto por diversas fibras de vidro unidas por um processo denominado pultrusão. Existem vários processos de revestir o núcleo com material isolante como pode ser visto nas figuras 1 e 2. Alguns desses processos geram uma linha de molde que pode causar alterações de campo elétrico, como mostrado na figura 3 [2].

A preocupação com o sistema de vedação em todo o isolador deve ser contínua, independente de seu processo de fabricação, de modo que o revestimento polimérico esteja totalmente aderente ao tarugo pultrudado de fibras de vidro, e que suas ferragens integrantes garantam uma perfeita estanqueidade entre o núcleo e o ambiente externo, tornando o isolador totalmente vedado e impossibilitando qualquer ingresso de umidade no seu interior.

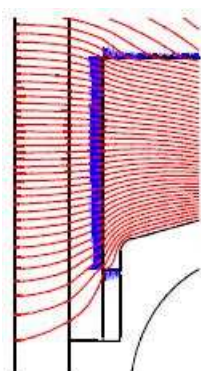
Devido a sua importância, os cuidados acima são fundamentais a qualquer processo de fabricação de isoladores, garantindo um projeto confiável e seguro devido ao alto risco de danos que poderão causar na rede elétrica e até fatalidades, caso falhe em sua finalidade primordial, ou seja, garantir o isolamento.



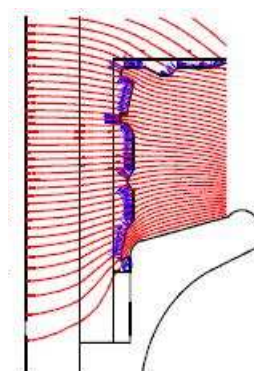
Figura 1 – Revestimento do núcleo por injeção à baixa pressão e vulcanização com alta temperatura (HTV)



Figura 2 – Saias pré-fabricadas a serem coladas no núcleo revestido previamente por um processo sem costura [1]



(a) Isolador sem linha de molde



(b) Isolador com linha de molde

Figura 3 – Campo elétrico da região da interface entre a ferragem integrante e o revestimento polimérico

Muito cuidado deve ser tomado com a fixação das ferragens integrantes ao isolador, pois ela se constitui em uma das fases mais delicadas do processo, pois se houver compressão em demasia, o núcleo será esmagado e se houver pouca compressão o núcleo se solta da ferragem. Além disso, a interface formada pela junção da extremidade metálica da ferragem integrante com o polímero do revestimento se constitui em uma parte muito sensível no projeto de um isolador composto polimérico, obrigando alguns fabricantes a utilizarem um processo de selagem para evitar a penetração de umidade. Esta tecnologia apresenta alguns inconvenientes pois o núcleo, o revestimento e as ferragens integrantes possuem módulos de elasticidade e coeficientes de dilatação térmica bem diferentes, fazendo com que apareçam esforços mecânicos nas interfaces ao ocorrerem variações tanto na temperatura quanto na carga mecânica, quando o isolador estiver instalado. Isto pode levar à deterioração da selagem com exposição do núcleo, como pode ser visto na figura 4. Assim sendo, a utilização de um processo de fabricação em que o revestimento isolante cobre parcialmente (ver figura 5) ou totalmente as ferragens integrantes mostra-se adequado, visto que garante a estanqueidade e aderência necessária para uma vida útil prolongada do isolador, sem a utilização de selantes que perdem sua função através do tempo. Porém, deve-se ter em mente que o uso de cobertura total das ferragens integrantes não implica em aumentar a distância de arco do isolador, pois a descarga disruptiva sempre ocorrerá entre as ferragens.

Existem ensaios de projeto normalizados [3, 4 e 5] para avaliar o desempenho das interfaces entre as ferragens integrantes, o revestimento polimérico e o núcleo, assim como ensaios para avaliar a qualidade do revestimento e do núcleo, mas não existem ensaios de

recebimento para avaliar se o revestimento aderiu adequadamente ao núcleo de fibras de vidro ou se houve problema durante o procedimento de injeção, ou seja, um ensaio de recebimento capaz de verificar a uniformidade do processo de fabricação, visto que este processo se utiliza de meios químicos para garantir a adesão entre as diferentes interfaces. O método de ensaio a ser apresentado, embora ainda não normalizado, já é utilizado por várias concessionárias brasileiras, e tem sido eficaz em averiguar a qualidade do isolador. Este ensaio deve ser considerado como um ensaio de recebimento, pois estará avaliando o processo de fabricação (injeção) sobre o núcleo, ou seja, a interface entre núcleo e revestimento. Além disso, a utilização mais frequente desta metodologia permitirá o aparecimento de possíveis dificuldades ao seu emprego, cuja solução facilitará o processo de sua normalização.



Figura 4 – Dano na selagem colocada na interface de um isolador polimérico



Figura 5 – Processo de fabricação com revestimento polimérico parcial sobre o núcleo e as ferragens integrantes do isolador

2. Danos em isoladores compostos poliméricos por falha no processo de injeção

Problemas devido às falhas durante o processo de injeção somente são facilmente perceptíveis quando são grosseiras (ver figura 6). A existência de bolhas internas, devido à falta de aderência, é de difícil localização, principalmente quando elas não se situam em regiões de elevado campo elétrico, mas os danos que elas provocam são muito sérios (ver figura 7).

Outro problema de difícil percepção é quando ocorre falha no posicionamento do núcleo de fibras de vidro durante o processo de injeção, fato este somente perceptível quando o isolador é serrado (ver figura 8).

Face aos problemas apresentados, se torna necessário o desenvolvimento de um ensaio para verificar o processo de aderência tanto do revestimento polimérico com o núcleo quanto com as ferragens integrantes, quando este processo de fabricação for utilizado.



Figura 6 – Isolador polimérico para 230 kV com falta de aderência na região das ferragens integrantes



Figura 7 – Isolador polimérico para 138 kV que falhou em ensaio de frequência industrial devido a uma bolha interna



Figura 8 – Corte de isolador polimérico de 230 kV mostrando falha no alinhamento do núcleo de fibra de vidro durante o processo de injeção

3. Método de ensaio para verificação da aderência e de problemas durante a injeção

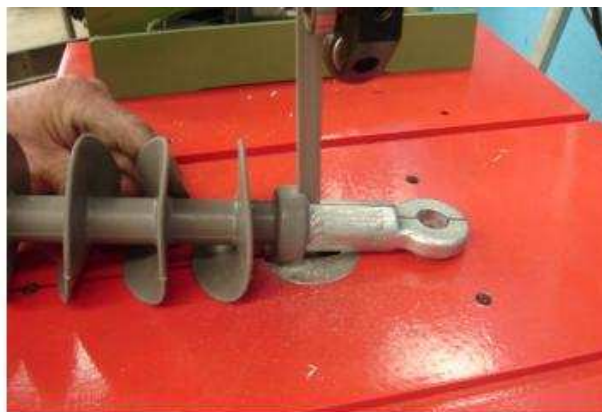
A amostragem a ser considerada para este ensaio é a E1 da norma NBR 15122 [3], sendo que, caso não se queira utilizar isoladores novos, podem-se utilizar os isoladores que tenham sido submetidos ao ensaio mecânico de recebimento.

Antes do ensaio, os isoladores devem ser examinados visualmente e deve-se verificar se suas dimensões estão em conformidade com os desenhos. Além disso, os isoladores devem ter sido aprovados nos ensaios de rotina.

Com equipamento apropriado (fresa, serra etc), deve-se fazer um corte longitudinal ao longo de todo o isolador, de maneira a deixar expostas as interfaces do isolador (ferragem/revestimento e núcleo/revestimento). Deve-se realizar uma verificação visual para observar a existência da falta de aderência do revestimento nas interfaces. A seguir, deve-se cortar transversalmente o pescoço das metades do isolador de modo a mostrar a interface ferragem/ revestimento e cortar transversalmente o meio de cada metade do isolador para verificar a interface núcleo/revestimento. A figura 9 mostra a seqüência de cortes em um isolador de 15 kV.



(a) Isolador a ser cortado



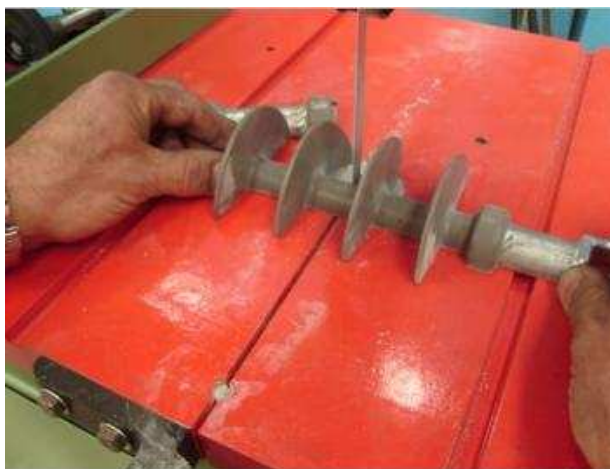
(b) Corte longitudinal do isolador



(c) Limpeza do isolador cortado



(d) Corte transversal para verificar a aderência da interface das ferragens integrantes



(e) Corte transversal no meio do isolador

Figura 9 – Execução do corte de um isolador para 15 kV para a verificação da aderência

Outros cortes devem ser feitos, dependendo do comprimento do isolador de modo que tenham pedaços com no máximo 10 cm, que possam ser facilmente manuseados para verificar a aderência. As pontas dos dedos de cada uma das mãos devem ser colocadas sobre cada lateral do revestimento do isolador cortado e devem pressionar o revestimento para verificar se ele se descola do núcleo de fibras de vidro, como pode ser visto na figura 10.

Se for um ensaio de projeto, e um único isolador tiver uma região com falta de aderência, o projeto do isolador será rejeitado. Se for um ensaio de recebimento, e um único isolador tiver uma região sem aderência, o ensaio deve ser repetido em uma amostragem duas vezes maior; se no reteste houver um isolador com falta de aderência, o lote será rejeitado.

Outra possibilidade é utilizar a tecnologia do Raios-X digital. A variação da intensidade do Raios-X aplicados sobre o isolador polimérico (ver figura 11) permite sua visualização interna sem necessidade de serrar o isolador. Esta tecnologia necessita de maiores estudos, para determinação dos parâmetros de ensaio (intensidade da irradiação, ângulos de incidência, tipo de radiação, etc), de modo a poder ser normalizada.

4. Avaliação do procedimento de cobertura total ou parcial das ferragens integrantes

Atualmente, a comprovação da eficácia do procedimento de cobertura das ferragens integrantes com o revestimento polimérico é realizada com o ensaio de ferragens integrantes e com o ensaio de líquido penetrantes, ambos da norma NBR 15122 [3]. As imagens da figura 12 mostram os resultados do ensaio de líquido penetrante aplicado a um isolador polimérico, após ter sido submetido ao ensaio de arco de potência no CEPEL.

A verificação da figura 12 mostrou que mesmo com as ferragens integrantes fundidas, devido ao ensaio de arco de potência, não houve penetração do corante líquido no interior da ferragem integrante, nem fissuras no revestimento e nem sequer a exposição ou o comprometimento do núcleo, garantindo a estanqueidade de sua vedação.

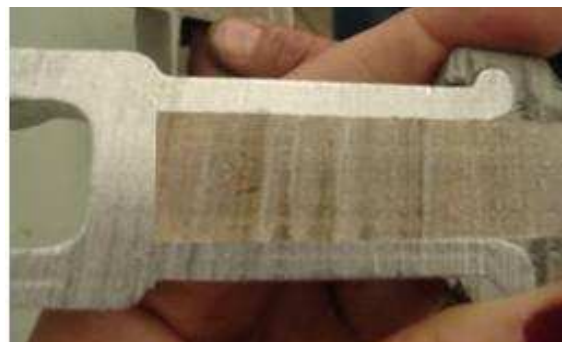
Alguns ensaios dielétricos, principalmente os de frequência industrial, costumam provocar marcas superficiais na cobertura das ferragens integrantes, mas sem causar qualquer alteração no comportamento dielétrico do isolador e sem reduzir a estanqueidade da cobertura.

5. Conclusões

- A aderência do revestimento polimérico ao núcleo de fibras de vidro se constitui em um dos problemas mais importantes que podem vir a afetar o desempenho de um isolador polimérico durante sua vida útil;
- A inexistência de um método de ensaio que possa avaliar se houve a aderência total, durante o processo de fabricação, faz com que alguns isoladores saiam com falhas internas, nem sempre detectáveis nos ensaios normalizados;
- O ensaio sugerido neste artigo é de fácil execução e permite verificar qualquer falha de aderência durante o processo de fabricação;
- A região da tripla junção (núcleo de fibras de vidro – revestimento polimérico – ferragens integrantes) se constitui em uma das áreas mais críticas no projeto de um isolador polimérico e simulações computacionais de campo elétrico são necessárias para otimizar qualquer projeto e reduzir a possibilidade de degradação do revestimento polimérico, que recobre este ponto dos isoladores;
- O uso da cobertura parcial ou total ferragens integrantes se mostra como uma solução prática e viável para reduzir o risco de penetração de umidade dentro do isolador através da região da tripla junção.



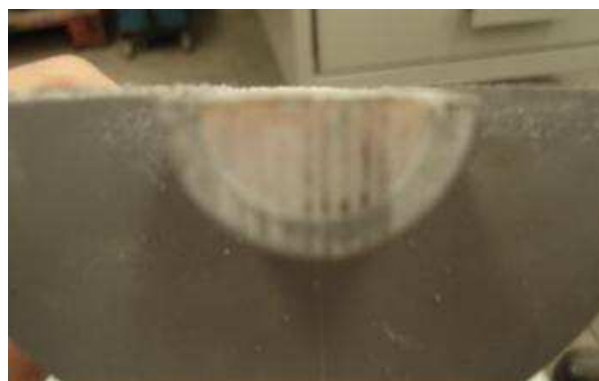
(a) Isolador totalmente cortado



(b) Inspeção do corte das ferragens integrantes



(c) Verificação da aderência das ferragens integrantes



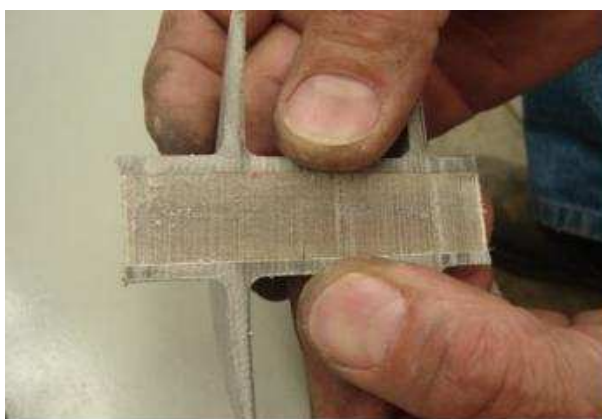
(d) Inspeção transversal do corpo do isolador



(e) Verificação da aderência transversal do corpo do isolador



(f) Inspeção longitudinal do corpo do isolador



(g) Verificação da aderência longitudinal do corpo do isolador

Figura 10 – Realização da verificação da aderência em um isolador para 15 kV

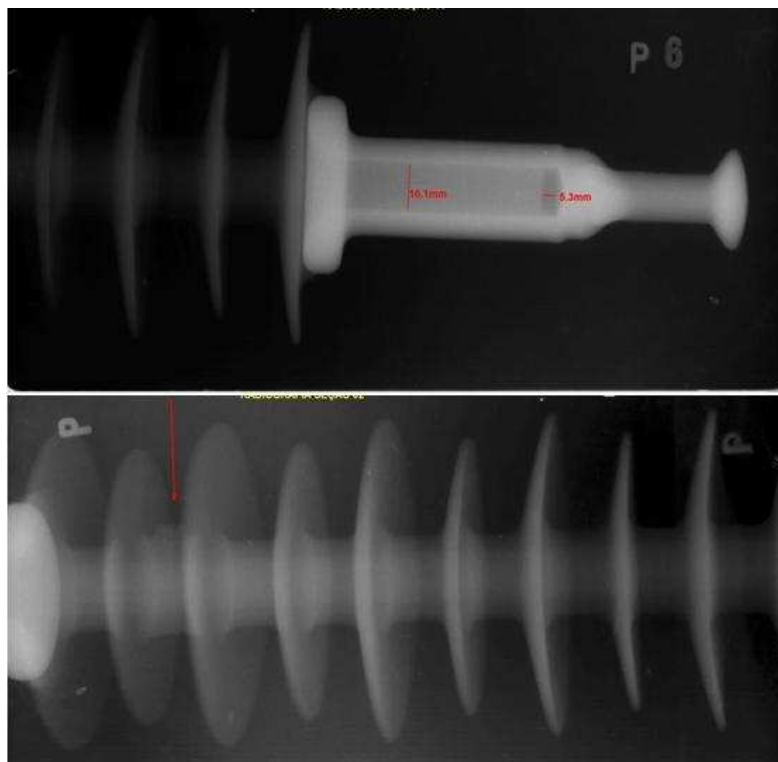


Figura 11 – Radiografia digital de isolador polimérico para 138 kV



(a) Aspersão do líquido penetrante nas ferragens integrantes.



(b) Arrancamento da ferragem integrante durante o ensaio de tração mecânica, para visualização interna.



(c) Avaliação das partes internas das ferragens integrantes, após o arrancamento.



Figura 11 – Realização de ensaio de líquido penetrante em isolador polimérico para 138 kV, após ensaio de arco de potência.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] A. Schütz: “The history of Rodurflex – quite a long story covering more than 3 decades”, publicada por LAPP Insulator.
- [2] K. Sokolija, M. Kapetanovic, R. Hartings and M. Hajro: “Considerations on the design of composite suspension insulators based on experience from natural ageing testing and electric field calculations”, Cigré, Bienal de 2000, artigo 33-204.
- [3] Norma NBR 15122: “Isoladores bastão compostos poliméricos para tensões acima de 1 000 V”, 2004.
- [4] Norma NBR 15232: “Isolador pilar composto para linhas aéreas de corrente alternada, com tensões acima de 1 000 V”, 2005.
- [5] Norma IEC 62217: “Polymeric insulators for indoor and outdoor use with nominal voltage greater than 1 000 V – Design tests”, 2004.