

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM ESCUDO POLIMÉRICO
PARA MINIMIZAR A QUEBRA DE ISOLADORES DE VIDRO POR
VANDALISMO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

JULIANA DE ALMEIDA YANAGUIZAWA

RECIFE, NOVEMBRO DE 2003

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM ESCUDO POLIMÉRICO
PARA MINIMIZAR A QUEBRA DE ISOLADORES DE VIDRO POR
VANDALISMO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

JULIANA DE ALMEIDA YANAGUIZAWA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MATERIAIS E FABRICAÇÃO

ORIENTADOR: PROF. DR. ARMANDO HIDEKI SHINOHARA

COORDENADOR DO CURSO: PROF^a RITA DE CÁSSIA LIMA

BANCA EXAMINADORA:

PROF. DR. SEVERINO LEOPOLDO URTIGA FILHO (UFPE)

**PROF. DR. EDSON GUEDES DA COSTA (UFCG)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

Aos meus pais.

“ Mas onde se achará a sabedoria? E onde está o lugar do entendimento? O homem não conhece o valor dela, nem se acha ela na terra dos viventes. O abismo diz: ‘Ela não está em mim’; e o mar diz: ‘Não está comigo’. Não se dá por ela ouro fino, nem se pesa prata em câmbio dela. O seu valor não se pode avaliar pelo ouro de Ofir, nem pelo precioso ônix, nem pela safira. O ouro não se iguala a ela, nem o cristal; ela não se trocará por jóia de ouro fino; ela faz esquecer o coral e o cristal; a aquisição da sabedoria é melhor que a das pérolas. Não se lhe igualará o topázio da Etiópia, nem se pode avaliar por ouro puro. Onde, pois, vem a sabedoria, e onde está o lugar do entendimento? Está encoberta aos olhos de todo vivente e oculta às aves do céu. O abismo e a morte dizem: ‘Ouvimos com nossos ouvidos a sua fama’. Deus lhe entende o caminho, e ele é quem sabe o seu lugar. Porque ele perscruta até as extremidades da terra, vê tudo o que há debaixo dos céus. Quando regulou o peso do vento e fixou a medida das águas; quando determinou leis para a chuva e caminho para o relâmpago dos trovões, então, viu Ele a sabedoria e a manifestou; estabeleceu-a e também a esquadrinhou. E disse ao homem: Eis que o temor do Senhor é a sabedoria, e o apartar-se do mal é o entendimento”.

Jó 28: 12-28.

AGRADECIMENTOS

Ao término desta dissertação de mestrado, agradeço àqueles que me apoiaram na realização deste trabalho.

Acima de tudo e principalmente, quero agradecer a Deus, por abençoar meus estudos e me capacitar a ser perseverante na busca de meus sonhos.

Em especial agradeço a meus pais que, mesmo longe, torceram por mim; obrigada pelo incentivo aos estudos, apoio e amor em todos os momentos de minha vida.

Ao namorado Eudes, pelo incentivo, paciência, ajuda e compreensão nos momentos difíceis que encontrei durante esta jornada.

Ao professor Armando Shinohara, pela contribuição dedicada em sua orientação; pela oportunidade de participar deste projeto; “importante é investir no conhecimento, pois é uma das coisas que não se pode nos tirar”.

À Chesf, pelo financiamento do projeto “Isolamento Mínimo”; aos engenheiros Gustavo Xavier e Denis Maciel, pelas informações fornecidas em nome da empresa.

Ao doutor Manfred Schwartz, pela colaboração e prontidão na execução deste trabalho, e pelas medições realizadas no laboratório da Química Fundamental (UFPE); à Eliete e todos os funcionários da Central Analítica, pelas medições de UV-Vis, IV e RMN.

Ao LAT da UFCG, em particular ao prof. Edson Guedes, pela colaboração na execução dos ensaios de alta tensão.

Ao Departamento de Energia Nuclear (DEN) pelas medições de densidade óptica.

A todos os amigos da UFPE, pelo convívio diário, companheirismo e amizade. Obrigada pela força e ajuda prestadas ao longo deste trabalho.

À UFPE, pelo oferecimento deste programa de mestrado acadêmico.

À CAPES, pela minha bolsa de mestrado.

À Prof^a Raquel Lima (UFRN), pelas medições de FRX.

À Embrarad, pela irradiação das amostras de vidro.

Ao DEE da USP, pelas medições de tensão disruptiva.

RESUMO

Os isoladores são utilizados para isolar os condutores da terra, fixando-os e suportando-os nas linhas de transmissão. Na atualidade, existem vários tipos de isoladores. Especificamente, os isoladores de vidro possuem uma vida útil relativamente longa, podendo chegar a 40 anos ou mais. Do ponto de vista construtivo, o vidro do isolador é temperado e tem excelentes propriedades dielétricas; possui formato de um “chapéu” e é fixado entre duas partes metálicas denominadas campânula e pino. Eletricamente, o isolador de vidro comporta-se como um circuito RC. Em condições a seco e sem poluição, o isolador de vidro, na sua forma íntegra, suporta uma tensão próxima de 80 kV, e não mais que 12 kV quando quebrado. No campo, o isolador está sujeito a um ambiente vulnerável a cargas de natureza eletromecânica, à ação de intempéries e danificações por vandalismo. A quebra de isoladores de vidro por vandalismo é uma realidade nacional, responsável por um número significativo de desligamentos não programados, atingindo um valor em torno de 75%.

Na presente dissertação, foi conduzido um estudo para projetar e construir um mecanismo de proteção da parte vítrea do isolador e avaliar a viabilidade de utilizá-lo nas linhas de transmissão. Dentre os vários materiais dielétricos, o policarbonato foi selecionado como material para escudo protetor, baseando-se num procedimento de engenharia.

A resistência mecânica do sistema de escudos foi avaliada com ensaios de impacto e balístico. Ensaios de alta-tensão foram realizados para avaliar a performance do escudo na presença de descargas na frequência industrial (60 Hz) e impulso de manobra no laboratório de alta tensão. Ademais, foi realizado um estudo sobre a possibilidade de aumentar a proteção do escudo de policarbonato contra raios ultravioleta provenientes do sol, utilizando radiação ionizante sobre o vidro.

A resistência ao impacto do escudo de policarbonato de 6 mm de espessura foi avaliada com equipamento de impacto com pêndulo. Por exemplo, a quebra do vidro do isolador protegido com o escudo foi verificada com energia de impacto próxima de 515 J – enquanto que sem proteção a quebra do vidro ocorreu com aproximadamente 205 J de energia.

No ensaio balístico, projéteis disparados com Magnum 44, equivalente a um rifle, somente conseguiram quebrar até 3 isoladores de vidro em cadeia quando cada isolador é protegido com o escudo.

Em termos de ensaios com alta-tensão, o policarbonato praticamente não exerceu influência sobre os valores de tensão disruptiva de uma cadeia de isoladores de vidro. Em frequência industrial, uma cadeia com 16 isoladores de vidro, possuindo apenas 7 unidades inteiras – distribuídas quase uniformemente ao longo da cadeia – apresentou valor de tensão disruptiva igual a 500 kV sem escudos, contra 505 kV com 10 escudos (colocados nos isoladores mais superiores da cadeia). O policarbonato apresentou boa estabilidade dimensional quando da ocorrência de arco elétrico, e não propiciou a formação de chama.

Medidas espectroscópicas de ultravioleta mostraram que a camada de proteção contra a radiação UV presente nas chapas de policarbonato permite que o material absorva substancialmente os raios nocivos e aumente sua durabilidade. Por outro lado, a técnica de irradiação do vidro com raios- γ possibilitou uma melhoria substancial nos valores de absorção UV do vidro dos isoladores. O *cut-off* que era observado em torno de 325 nm passou para valores acima de 600 nm após a

irradiação com diferentes doses de raios- γ de Co-60. Ensaio adicionais sobre o fator tempo e temperatura, como tratamento térmico das amostras irradiadas feito a 70°C por sete dias, mostraram que o vidro não sofreu degradação com relação ao poder de absorção UV induzido pela irradiação com raios- γ . As propriedades do vidro, características de vidros soda-cal, estabilizaram-se após os primeiros 30 dias de irradiação.

Em termos do custo de cada placa de policarbonato sugerido para o escudo, foi encontrado o valor de R\$ 27,73. Por ser leve (aproximadamente 485 g), o escudo de policarbonato não prejudica o desempenho mecânico da cadeia de isoladores. O material é facilmente usinável, sendo também inofensivo ao meio ambiente e não atrai a atenção de curiosos nas linhas de transmissão pela ausência de coloração.

ABSTRACT

Electrical insulators are largely employed in the hot lines to isolate the electricity conductors from the earth and support them at the towers. Nowadays, there are several kinds of insulators for such application. Particularly, the glass insulators are largely employed in Brazil, and it is known to have a long useful life, able to reach more than 40 years. From the constructive point of view, the glass insulator is made of tempered glass and has an excellent dielectric property, and it can be treated as a RC electrical circuit. In good environment, dry and without pollution, a glass insulator supports up to 80 kV in air, and not more than 12 kV when it is broken. In the field, the glass insulators are subjected to a vulnerable environment and they are damaged by the vandalism actions. Energy interruption due to the vandalism is a national problem and responsible for a significant number of breakouts, reaching a value of around 75%.

At the present work, a study was conducted to build and test a system of protection to protect the glass part of insulator from the vandalism, using an insulator material. Among several insulating materials, the polycarbonate was selected based on an engineering procedure. The mechanical resistance of a protection system was evaluated with impact test in the laboratory and ballistic test. High-tension test was conducted with the industrial frequency (60 Hz) and impulse. Furthermore, to evaluate and improve the life of polycarbonate in the field, ultraviolet spectroscopy study and irradiation of glass were conducted.

A test of the resistance to impact on the protection system made of polycarbonate of 6 mm in thickness was evaluated with a equipment of impact with pendulum setting. As a result, values of 515 J and 205 J were obtained for a system with and without polycarbonate protection. In the ballistic test, projectiles from Magnum 44, equivalent to a rifle, could break up to 3 glass insulators of the chain when each insulator was protected with a plate of polycarbonate. In terms of test with high tension, the polycarbonate practically did not show significant influence on the values of disruptive tension. With the industrial frequency test, a chain with 16 glass insulators, with 9 broken insulators and 10 plates of polycarbonate installed, found a close value, 500 kV.

The polycarbonate showed a good dimensional stability after the occurrence of electric discharge in the breakdown test, and it did not allow the flame ignition. Ultraviolet spectroscopic measurement showed that the UV protection layer on polycarbonate is effective to absorb substantially the harmful rays. On the other hand, the technique to irradiate the soda-lime-silica glass with γ -ray can improve substantially the values of absorption of UV cut-off. As received glass showed the cut-off value at 325 nm. After irradiation, the cut-off value passed to 600 nm. In order to test the effect of temperature on the cut-off value, the glass samples were heated at 70°C for seven days. As a result, no significant changes in the values of cut-off were observed. In terms of fading, 30 days after irradiation with γ -ray, no change was observed. Furthermore, an evaluation of cost effective calculation on application of plate of polycarbonate as a protection system, a value of R\$ 27,73 was found.