



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO -GMI

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI

MONITORAMENTO DE ISOLADORES POLIMÉRICOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO ATRAVÉS DE SENSOR DE CORRENTE DE FUGA

Phillip Luiz de Mendonça (*)
CELPE

Joceli Maria Giacomini Angelini
CPqD

Flávio Eduardo Nallin
CPqD

Edson Guedes da Costa
UFCG

Tarso Vilela Ferreira
UFCG

André Dantas Germano
UFCG

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar uma metodologia de monitoramento da degradação de isoladores poliméricos classe 69kV através de um sensor de corrente de fuga e ensaios complementares. Neste é evidenciado a correlação entre os dados colhidos em campo e as análises feitas em laboratório, fato este que permite estabelecer o momento ótimo para intervenção, avaliando então, se esta se dá pela lavagem ou pela substituição do isolador.

PALAVRAS-CHAVE

Isolado, Sensor, e Corrente de Fuga.

1.0 - INTRODUÇÃO

O uso de isoladores poliméricos em linhas de transmissão e de sub-transmissão vem aumentando de maneira bastante intensa nos últimos anos e, apesar da tecnologia estar em uso desde a década de 80, ainda persistem dúvidas a respeito de sua vida útil e de seus modos de falha preferenciais. Os polímeros são compostos orgânicos e vão se degradando com o tempo e por isso é preciso descobrir quando acontecerá o colapso, ou antecipar uma possível falha.

A Celpe vem utilizando isoladores poliméricos nas suas redes de Média Tensão (classe 15 kV) e também nas linhas de sub-transmissão, classes de tensão 69 kV, 138 kV e 230 kV, o que lhe motiva a pesquisar os modos de falha nestes materiais sobretudo nos isoladores de classe 69 kV, com uso mais extensivo nas suas Linhas de Transmissão.

Diante disto, esta pesquisa objetiva avaliar a degradação dos isoladores através de método específico, que é o monitoramento de sua corrente de fuga. Para tanto foi desenvolvido um sensor, o qual verifica os patamares de corrente de fuga, de forma a avaliar o desempenho destes isoladores e conhecer sua expectativa de vida útil. Apartir da padronização dos diversos níveis de corrente de fuga é possível planejar a lavagem ou até mesmo a substituição de um isolador, quando este se aproxima do fim de sua vida útil.

Afim de se obter o modo de falha preferencial dos isoladores poliméricos e o nível de correlação entre os valores de corrente de fuga em campo informados pelo sensor e os valores observados em laboratório sob condições específicas, foram realizados ensaios elétricos em isoladores novos, em isoladores retirados de campo com tempos diferentes de instalação e em isoladores submetidos a ensaios de envelhecimento acelerado.

A amostra considerada na pesquisa foi composta por seis isoladores tipo EPDM instalados em uma região de marinha.

2.0 - O SENSOR

Antes de descrever o sensor propriamente dito desenvolvido pela Celpe se faz necessário uma segmentação das etapas de sua construção até o estado da arte atual, dado que este é uma evolução do sensor desenvolvido por uma empresa do grupo ao qual a Celpe pertence, neste caso a Coelba.

2.1 Na Coelba

O sensor é do tipo eletromecânico, tendo como princípio de atuação a indução eletromagnética, onde o elemento indutor é a própria parte metálica do isolador ou alguma parte da ferragem da estrutura.

Ao estabelecer-se uma corrente de fuga superior ao valor setado, atua-se uma bandeirola indicando visivelmente a condição do isolador. Neste caso o valor setado foi de 10 mA. Ver Figura 1 e Figura 2.

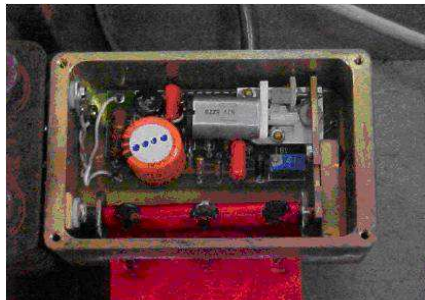


FIGURA 1 – Fotografia do sensor desenvolvido na Coelba - Detalhe interno

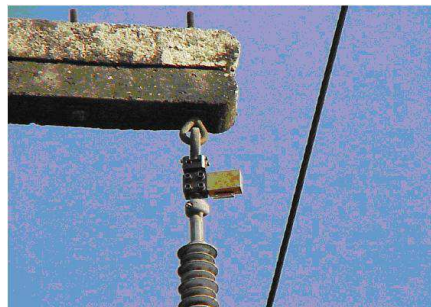


FIGURA 2 – Fotografia do sensor desenvolvido na Coelba - Detalhe em campo

2.2 Na Celpe

Neste caso o sensor é tipo eletrônico, onde a atuação se dá também por indução eletromagnética utilizando a parte metálica do isolador.

O grande diferencial está na forma de indicar que a corrente atingiu o valor máximo previamente ajustado. Agora, o sensor envia um sinal de rádio frequência para uma porta concentradora, que por sua vez contabiliza as atuações e envia uma mensagem para um telefone celular pré-cadastrado.



FIGURA 3 - Fotografia do sensor desenvolvido na Celpe - Detalhe em laboratório

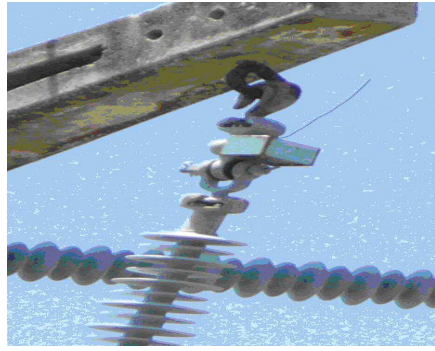


FIGURA 4 - Fotografia do sensor desenvolvido na Celpe - Detalhe em campo

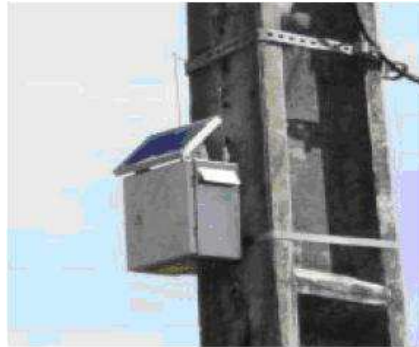


FIGURA 5 - Fotografia da unidade concentradora desenvolvida na Celpe - Detalhe em campo

3.0 - DESENVOLVIMENTO DO SENSOR

Para se desenvolver o sensor de corrente de fuga foi preciso expandir a concepção de monitoramento de um isolador, sendo necessário portanto evoluir para a construção de um sistema remoto de aquisição de dados o qual é composto por duas unidades: a unidade “Sensor” e unidade “Concentradora”. Abaixo é descrito cada uma destas.

A. Unidade Sensor

O sensor é o elemento do tipo Shunt que é instalado entre a ferragem da estrutura (torre) e o isolador, o qual uma vez ajustado o nível de corrente de fuga para disparo, atua sobre um transmissor de RF que emite um código de identificação.

O ajuste da corrente de fuga, em que deve ocorrer o disparo, é realizado previamente em laboratório (por hardware).

Uma característica atrativa deste sensor é que não existe a necessidade de alimentação por baterias, uma vez que a energia necessária para a transmissão do sinal RF é obtido da própria corrente de fuga, com alcance aproximado de 70 metros.

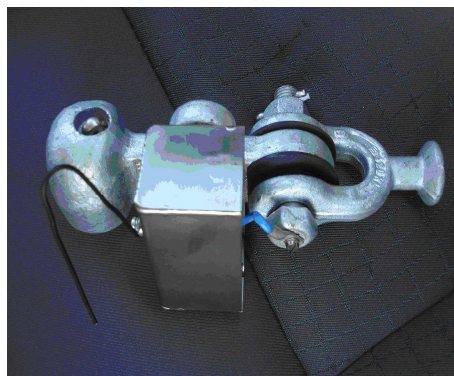


FIGURA 6 - Fotografia do sensor - Detalhe construtivo

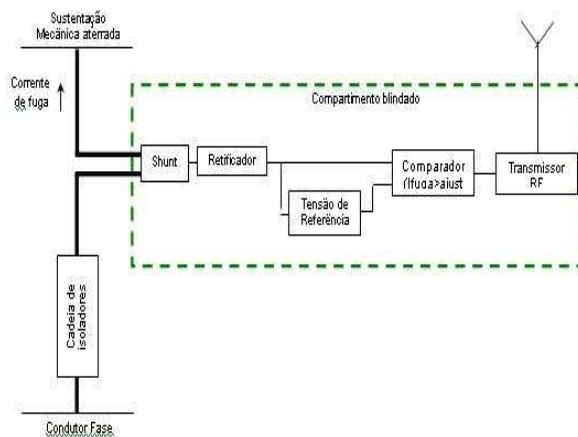


FIGURA 7 - Diagrama de bloco do sensor

B. Unidade Concentradora

A unidade concentradora é um gabinete com sistema de alimentação CC próprio (bateria e painel fotovoltaico) e circulação natural de ar onde são recebidos os sinais RF de até 6 unidades “Sensor”.

Uma recepção válida, originada nos sensores, tem que conter três pacotes de dados idênticos, evitando que sejam registrados eventos falsos (ruídos eletromagnéticos). A geração dos três pacotes na transmissão é de responsabilidade de um componente específico para esta finalidade (instalado no sensor).

O microcontrolador por sua vez, identifica a origem do emissor e incrementa a contagem de eventos referente ao dispositivo emissor. São registrados eventos das seis unidades sensoras com limite de contagem em 65000. Os registros são gravados em memória não volátil (EEPROM) evitando a perda dos dados caso ocorra uma falha na bateria. Está provido de interface serial padrão RS-232 na qual foi conectado um terminal GSM com a finalidade de envio periódico das contagens ao responsável pelo sistema. Nela também está disponível a indicação de tensão da bateria.



FIGURA 8 - Fotografia da unidade concentradora - Detalhe de operação em campo

4.0 - INSTALAÇÃO DOS SENSORES

Os sensores foram instalados em novembro de 2008 nos isoladores de uma Linha de Transmissão de 69kV, 02N7/IPO-PTG, a qual alimenta a subestação de Porto de Galinhas-PTG, às margens da rodovia PE-009 Km06, coordenadas de latitude 8° 28.49' S e longitude 35° 0.063' O.

Tais isoladores já estavam na linha há aproximadamente 8 anos e tiveram como início do ciclo de contagem o mês de março de 2009.



FIGURA 9 - Fotografia da região onde foram instalados os sensores

Com o objetivo de monitorar os diversos patamares de corrente de fuga em função das variações climáticas foram setados valores diferentes de atuação para cada sensor, de forma a se obter um valor ótimo para ajuste. Abaixo seguem os patamares ajustados:

- 1 - Sensor ajustado para 2mA.
- 2 - Sensor ajustado para 4mA.
- 3 - Sensor ajustado para 6mA.
- 4 - Sensor ajustado para 8mA.
- 5 - Sensor ajustado para 10mA.
- 6 - Sensor ajustado para 12mA.

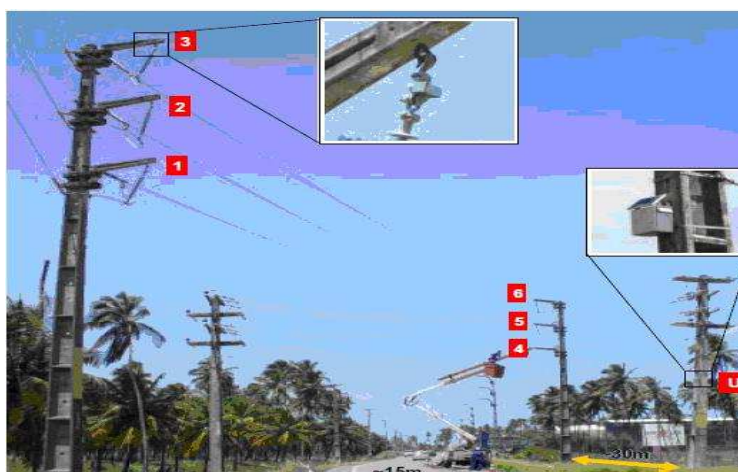


FIGURA 10 - Fotografia do local de instalação do sensor

5.0 - MEDIÇÕES EM LABORATÓRIO

Em junho de 2009 foram retirados os seis isoladores que estavam sendo monitorados em campo. Daí foram encaminhados para o laboratório de Alta Tensão da UFCG com objetivo de realizar ensaios para confirmar a eficiência do sensor no diz respeito aos valores sinalizados por este equipamento.

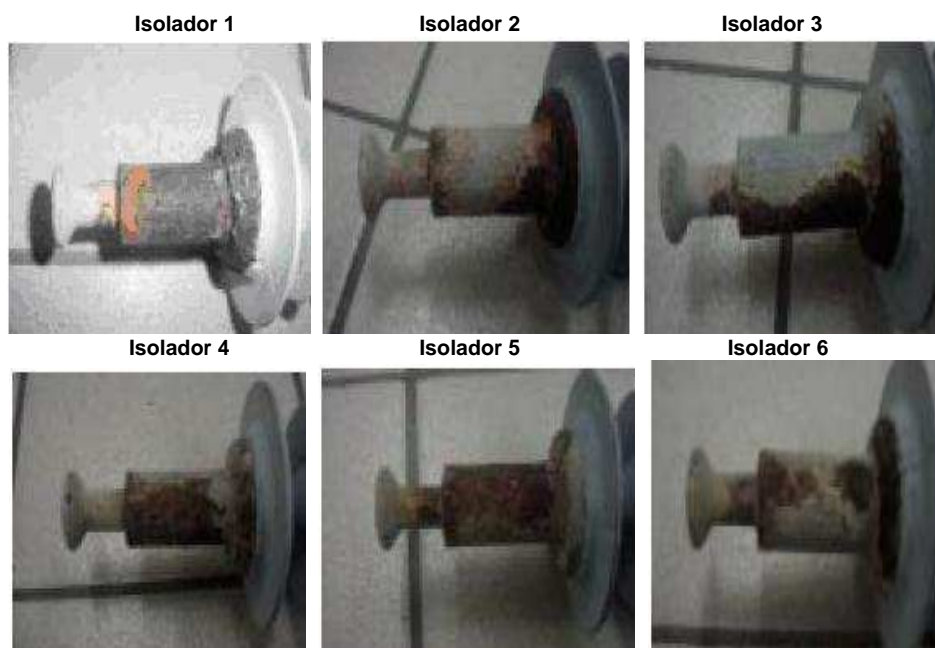


FIGURA 11 - Fotografias dos isoladores encaminhados para ensaios em laboratório

É importante destacar que tais isoladores estavam instalados há aproximadamente 8 anos em região de marinha, conforme dito anteriormente, e portanto apresentavam um nível de impregnação salina bem relevante além da umidade relativa do ar da região que é da ordem de 80%, fatos estes que contribuíram bastante para comparação entre os valores obtidos em campo e em laboratório.

Tabela 1 - Valores de corrente de fuga nos isoladores medidos em laboratório e registro dos eventos nos sensores em campo

| | Ajuste de Corrente de Detecção do Sensor(m A) | Medição de Corrente de Fuga - MCFU(m A) | Contagem de Eventos no Sensor |
|----------------|---|---|-------------------------------|
| Isol. 1 | 2 | 3,23 | 393 |
| Isol. 2 | 4 | 2,80 | 0 |
| Isol. 3 | 6 | 3,44 | 0 |
| Isol. 4 | 8 | 4,02 | 13 |
| Isol. 5 | 10 | 3,98 | 1 |
| Isol. 6 | 12 | 2,92 | 0 |

Analisando a tabela acima, mesmo considerando que as condições de laboratório não reproduzem a condição real de campo, tais como vento e brisa salina incidindo sobre os isoladores, percebe-se uma boa relação dos registros com as correntes de fuga encontradas, como é o caso dos isoladores 1,2 e 3 por exemplo. Como a contagem de eventos no sensor corresponde ao número de vezes em que o nível de corrente de fuga no isolador ultrapassou a corrente crítica estipulada para aquele sensor, pelos isoladores 2 e 3 nunca passaram correntes superiores a 4 mA e 6 mA, respectivamente, o que significa que o ocorrido em campo corrobora com o encontrado em laboratório. O mesmo aconteceu com respeito ao isolador 1, onde ocorreram 393 contagens de eventos no sensor com o valor de 3,23 mA encontrado em laboratório, valor este superior aos 2 mA de ajuste de corrente de fuga crítica. Para o isolador 6, também houve concordância entre campo e laboratório.

O isolador 5 parece apresentar boa relação entre os resultados dos experimentos, pois somente um evento ocorreu acima de 10 mA e a corrente de fuga determinada em laboratório foi de 3,98 mA.

O isolador 4 teve 13 contagens acima de 8 mA e foi o que apresentou maiores valores de corrente de fuga medidas em laboratório, 4 mA. Supondo-se que os isoladores apresentavam mesmo desempenho inicialmente, sugere-se como corrente de fuga crítica o valor de 4mA.

Os isoladores 1 e 4 apresentaram os maiores gradientes de temperatura (diferença entre a temperatura máxima e mínima na amostra), além de terem apresentado as maiores temperaturas absolutas, juntamente com o isolador 2. O isolador 5, que teve a segunda maior corrente de fuga, não teve detalhes térmicos destacáveis.

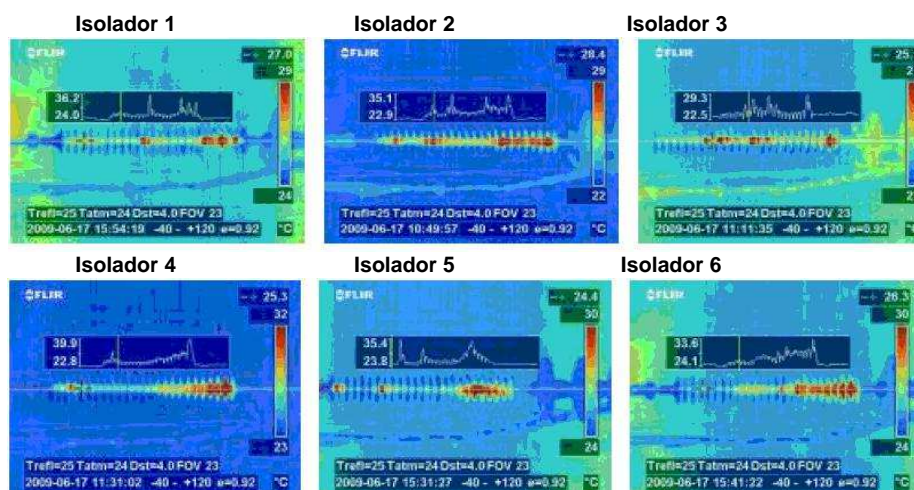


FIGURA 12 - Fotografias dos termogramas dos isoladores

Com relação às inspeções com o DayCor, o isolador 1 e o 4 têm formação de descargas superficiais, algumas chegando a curto-circuitar completamente o espaço entre duas aletas. Todavia, este fenômeno também aconteceu nos outros isoladores com correntes de fuga menores.

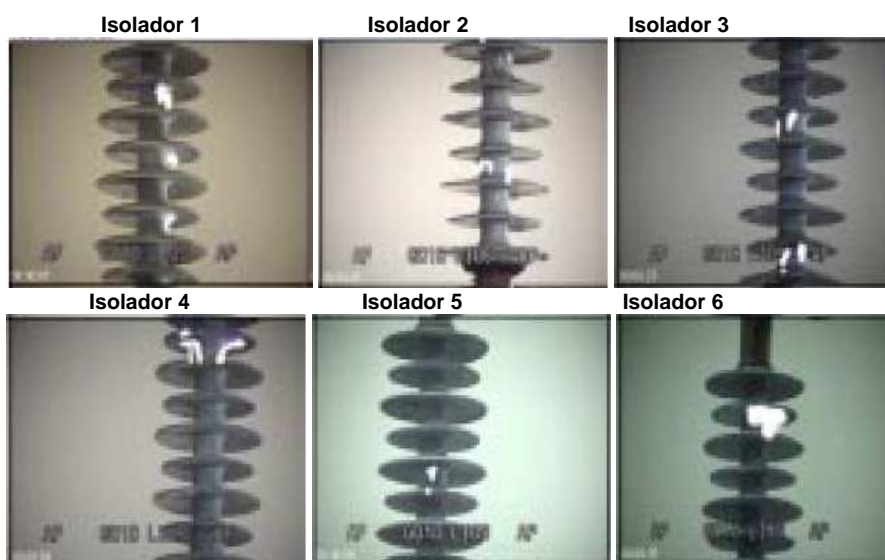


FIGURA 13 - Fotografias das descargas parciais nos isoladores

O resultado das duas inspeções de forma combinada sugere que, nestes casos, a variação da corrente de fuga está muito mais dependente do grau de poluição dos isoladores que dá integridade física dos mesmos.

O isolador 1 indicou 393 eventos em 100 dias de instalação, e teve uma corrente medida de 3,23 mA, o que pode indicar que o valor de 4 mA seja um limiar de corrente de fuga para indicar ponto de lavagem, partindo-se da premissa que os isoladores estavam com salinidade. Nesse período o isolador teve uma atividade de corrente de fuga em função da salinidade com umidade; também pela degradação ocorrida em campo nos 8 anos de uso, fazendo com que este juntamente com o isolador 4 apresentassem maior número de eventos nos sensores e maiores valores de temperatura.

É importante salientar que medições de corrente de fuga com isoladores na condição “a seco” foram realizadas e mostram uma baixa atividade de corrente de fuga (da ordem de 20 uA), valor este que se eleva para 3 mA quando submetido também a umidade (ou seja 150 vezes maior), indicando assim que a medição de corrente de fuga é um artifício válido para sinalizar a condição de salinidade que o isolador se encontra.

Para comprovar tal efeito os isoladores foram lavados com jato d'água, caso em que a diminuição de corrente foi da ordem de 30 a 50%, e com esponja, que foi de 72%. Desta ficou evidente que a retirada de sal melhora o desempenho do isolador na situação de umidade.

Não foi possível observar se as chuvas já são suficientes para a lavagem do isolador e, conseqüentemente, para a redução da corrente de fuga. Como a simples lavagem com jato não é tão efetiva, pode-se concluir que nem sempre somente a chuva é suficiente como elemento de limpeza.

Podem-se avaliar mecanismos como lavagem direcionada, lavar as superfícies inferiores e superiores dos isoladores, por exemplo.

6.0 - CONCLUSÃO

Os valores sinalizados pelo sensor de corrente de fuga indicaram boa aderência quando comparados àqueles obtidos nos isoladores em laboratório. Para complementar tal constatação as inspeções com equipamento de ultravioleta e termovisor se mostraram coerentes com os patamares de corrente verificados nos isoladores após atuação dos sensores.

Como o isolador 1 teve o maior número de eventos, cerca de 97% do total registrado, e este apresentou em laboratório corrente de fuga de 3,23 mA contra um ajuste de 2 mA sugere-se um valor de corrente de fuga crítica de 4 mA para aquela região.

Apartir das análises realizadas ficou evidenciada a possibilidade de, além de monitorar o isolador para lavagem efetuar a substituição através da detecção de sua degradação.

7.0 - REFERÊNCIAS

- [1]- GÓIS, N. C.; BRITO, J. A. ; NALIM, F. E. ; ANGELINI, J. M. G. ; ROSSI, J. A. D. ; PETRACHIM, J. A.; Sensor para verificação de degradação em isoladores poliméricos de linhas de transmissão; trabalho apresentado e publicado no CD do Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Citenel, 2., Salvador, 2003.
- [2]- ANGELINI, J. M. G.; BAGAROLLI, A. ; NALLIM, F. E. ; GÓIS, N. C. ; PETRACHIM, J. A. ; ROSSI, J. A. D.. Sensor to verify degradation on transmission lines polymeric insulators; trabalho apresentado e publicado no CD do Congreso Latinoamericano Generacion y Transporte de la Energia Electrica, CLAGTEE, Mar Del Plata, 2005.
- [3]- GÓIS, N. C.; ROSSI, J. A. D.; NALLIN, F. H. ; PETRACHIM, J. A.; ANGELINI, J. M. G.; Aplicação de sensor para monitoramento da degradação de isoladores poliméricos de EPDM na Coelba; artigo apresentado e publicado no CD do XIX SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, outubro de 2007.
- [4]- VOSLOO, W.L.; HOLTZHAUSEN, J.P.; ROEDIGER, A.H.A.; Leakage current performance of naturally aged non-ceramic insulators under a severe marine environment; Conference Title: AFRICON '96. Incorporating AP-MTT-96 and COMSIG-96;1996 IEEE AFRICON. 4th AFRICON Conference in Africa. Electrical Energy Technology, Communication Systems, Human Resources (Cat. No.96CH35866)Part vol.1, p.489-95 vol.1,1996.
- [5]-FERNANDO, M.A.R.M.; GUBANSKI, S. M. "Leakage currents on non-ceramic insulators and materials" IEEE TRANS. On Dielectrics and Elect. Insulation, vol 6, n5, 1999, pp 660-667.
- [6]-Sorqvist, T.; Vlastos, A., E.; Performance and ageing of polymeric insulators; IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 12, nº4, 1997, pp 1657-1665.

8.0 - BIOGRAFIAS

Phillip Luiz de Mendonça nasceu no Brasil em 1980. Recebeu o título de Técnico em Eletrotécnica em 1997 pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco e o de Engenheiro Eletricista em 2006 pela Escola Politécnica de Pernambuco. Desde 2001 trabalha no setor de Engenharia de Manutenção de Linhas e Redes da Celpe e atualmente faz parte do corpo discente dos cursos de Gestão da Manutenção oferecido pela Escola Politécnica de e de Mestrado em Sistema de Potência oferecido pela Universidade Federal de Pernambuco.

Joceli Maria Giacomini Angelini nasceu em 1955. Obteve a graduação no curso de Licenciatura em Química no ano de 1980 pela Universidade Estadual de Campinas, em 1993 recebeu o título de mestre em Engenharia Química também pela Universidade Estadual de Campinas e em 1999 recebeu o título de doutor em Materiais Poliméricos pela Universidade de Manchester Instituto de Ciência e Tecnologia, Reino Unido. Atua como pesquisadora do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações desde 1979 além de lecionar no curso de pós-graduação da Universidade Estadual de Campinas.

Flávio Eduardo Nallin nasceu em Campinas-SP, Brasil, em 1964. Tem formação técnica em eletrotécnica desde 1984. Trabalhou até 1987 no laboratório da alta tensão da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. A partir de 1987, no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás, desenvolveu dispositivos e equipamentos destinados a ensaios de alta tensão em componentes de proteção. Desde 1998 atua no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações onde desenvolve dispositivos de monitoramento remoto nos programas de pesquisa da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Edson Guedes da Costa nasceu no Brasil em 1954. Recebeu o título de Engenheiro Eletricista em 1978, em 1981 recebeu o título de mestre (M.Sc) e em 1999 recebeu o título de doutor (D.Sc) todos da Universidade Federal da Paraíba.

Tarso Vilela Ferreira nasceu no Brasil em 1980. Graduiu-se em Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos, pela Universidade Federal de Campina Grande em 2005 e em 2007 recebeu o título de mestre também pela Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente é estudante de Doutorado da Universidade Federal de Campina Grande onde é professor substituto.

André Dantas Germano nasceu no Brasil. Graduiu-se em Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos, pela Universidade Federal de Campina Grande em 2009. Atualmente é estudante de Mestrado na mesma instituição.