



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

XXX.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO X

GRUPO DE ESTUDOS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA DOS CABOS DE SUPERVISÃO, COMUNICAÇÃO,
CONTROLE E PROTEÇÃO APLICADOS EM SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO**

**Antonio Carlos Passos Sartin (*) Fábio Romano Lofrano Dotto Cezar José Sant'Anna
Rogério Thomazella Paulo Roberto de Aguiar
CTEEP UNESP/ FUNDEB**

RESUMO

Este trabalho apresentará alguns resultados de pesquisas referente à avaliação de condutores metálicos isolados, blindados ou não, para atender os sistemas de Comunicação, Proteção, Controle e Supervisão de Subestações até 440 kV frente às interferência eletromagnéticas, feitas pelo grupo de pesquisa da Universidade Estadual Paulista - UNESP em parceria com a CTEEP- Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista. Este trabalho compreende a metodologia adotada para os ensaios realizados em laboratório, bem como, os tipos de testes necessários para captar os efeitos provocados pelas interferências eletromagnéticas. A caracterização da interferência e a sua classificação, possibilitaram identificar pontos susceptíveis na subestação, contribuindo para o desenvolvimento de um procedimento técnico para minimizar os efeitos provocados nos sistemas da subestação. Como conclusão, apresenta-se uma comparação dos efeitos das interferências eletromagnéticas em dois cabos (com e sem blindagem).

PALAVRAS-CHAVE

Interferência eletromagnética, Cabos blindados, Ensaios de interferência eletromagnética

1.0 - INTRODUÇÃO

As interferências eletromagnéticas são alguns dos grandes problemas gerados nas subestações. A utilização de condutores metálicos isolados, blindados ou não, continua sendo o meio mais econômico de se atender as áreas de comunicação, proteção, controle e supervisão das empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

A correta especificação dos condutores, aliado a um bom entendimento de como instalá-los, contribui para minimizar os efeitos das interferências das ondas eletromagnéticas geradas devido às descargas atmosféricas, efeito corona, curtos-circuitos no 60 Hz e aberturas/fechamentos de chaves e disjuntores.

Devido às necessidades de um estudo voltado para os problemas acima descritos, concretizou-se o Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento junto à Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista - CTEEP, conforme as regras da Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL e a Fundação para o Desenvolvimento de Bauru FUNDEB – UNESP. Criou-se então, um grupo de trabalho com o intuito de desenvolver os estudos sobre a susceptibilidade eletromagnética dos cabos de comunicação, proteção, controle e supervisão, que possam ser instalados em subestações.

O grupo de pesquisas desenvolveu os estudos teóricos, utilizando as bibliografias nacionais e internacionais existentes com relação as normas e padrões de concessionárias de energia elétrica e de telecomunicações, bem como, apresenta no final deste trabalho, os resultados obtidos nos ensaios experimentais de dois cabos presentes em uma subestação.

2.0 - CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

Do ponto de vista amplo, as interferências eletromagnéticas (EMI) requerem três elementos básicos para serem efetivamente produzidas: fontes emissoras, meios de propagação por condução ou radiação e elementos receptores.

As interferências eletromagnéticas em uma subestação têm várias fontes emissoras, tais como: as induções do 60 Hz advindas da operação normal em uma subestação e as ocorrências de curtos-circuitos; os surtos, provenientes das descargas atmosféricas e das aberturas e fechamentos das chaves e disjuntores; e os efeitos corona. Essas fontes de interferências atuam nos equipamentos, através das tensões induzidas nos condutores de alimentação de força de corrente alternada e/ou corrente contínua, nos condutores de comunicação, supervisão, proteção e controle, que são os meios de propagação. Provocam danos aos equipamentos, elementos receptores, algumas vezes com a ocorrência de comandos indesejáveis (desligamento do equipamento) e alterações nos valores de supervisão.

Essas tensões induzidas são devido às tensões de modo comum, originadas por acoplamentos indutivos (eletromagnético) e os acoplamentos condutivos (galvânicos), e também, devido às tensões de modo diferencial, originadas por acoplamentos capacitivos.

Existem algumas outras fontes de interferências devido ao serviço auxiliar, tais como: falta fase-terra, desequilíbrio de correntes, manobras dos contadores e inserção/desinserção cargas indutivas.

No entanto, as descargas atmosféricas são as maiores fontes de radiação eletromagnética que interferem na operação dos equipamentos elétricos e eletrônicos.

Diante disso, o conhecimento de como se comportam os pulsos eletromagnéticos de uma descarga atmosférica-PEDA, em uma dada região, é essencial para se estabelecer os níveis de proteção dos sistemas elétricos e eletrônicos, e os níveis de proteção nas instalações elétricas das edificações que contenham sistemas sensíveis à transitórios eletromagnéticos (IEC 61312-1).

Conhecer os valores de tensão induzida nos condutores e em suas blindagens facilitará o engenheiro eletricista, quando necessitar dimensionar um condutor. A possibilidade de ter em mãos subsídios suficientes para decidir por este ou aquele condutor, por este ou aquele tipo de blindagem e outras necessidades, visando a redução ou até a eliminação de danos nos equipamentos eletrônicos, diminuirá os custos de manutenção das concessionárias de energia elétrica, referente ao conserto e substituição de tais equipamentos.

3.0 - DENSENVOLVIMENTO

3.1 Arranjo dos Ensaios

A primeira etapa do projeto de pesquisa foi de estudos e busca de material bibliográfico. Para a etapa de ensaios em condutores, uma vez que não existem normas para se determinar ensaios de EMI em condutores, o grupo, em parceria com a EMField Consultoria em Ensaios Elétricos Ltda, empresa contratada para auxiliar com os ensaios, desenvolveu a metodologia para os ensaios de Impulso Combinado, Transitório Elétrico Rápido e de Campo Magnético resultante de uma corrente de 60 Hz em regime permanente. Esses ensaios ocorreram em diversos condutores de comunicação, proteção, controle e supervisão, os quais são utilizados em subestações. Os condutores para ensaios foram fornecidos pela CTEEP. Os ensaios, acima descritos, ocorreram no laboratório de alta tensão do Lactec - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, em Curitiba - PR.

Para a realização dos ensaios construiu-se uma bancada com 12 metros de comprimento, com 1,00 metro de altura e com uma largura de 0,60 metro. A bancada foi construída totalmente em madeira, sem nenhum tipo de objeto metálico, conforme apresentado na Figura 1.



FIGURA 1 – Bancada de Ensaios com condutor gerador de distúrbio e condutor a ser ensaiado

A mesa foi colocada sobre um plano de terra, composto por chapas de aço galvanizado, medindo 15 metros de comprimento e 1,50 metros de largura. É possível observar na Figura 2 que esse plano oferece uma baixa impedância de retorno aos transitórios eletromagnéticos aplicados nos ensaios, assim como, as características físicas que reproduzem o efeito do solo.



FIGURA 2 – Bancada de Ensaios sobre o plano terra

O arranjo permite a realização de ensaios de indução através da colocação de um condutor gerador de distúrbio, em paralelo com o condutor a ser ensaiado, distante um do outro de 0,10 metro, com a finalidade de avaliar o acoplamento entre esses dois tipos de condutores, para cada um dos diferentes tipos de transitórios eletromagnéticos aplicados. Esse condutor tem uma das extremidades aterradas no Plano de Terra como pode ser observado na Figura 2.

Foram também realizados ensaios nos laboratórios da UNESP, com o objetivo de se levantar os parâmetros de resistência, indutância e capacitância dos condutores ensaiados no Lactec, nas frequências de 0,1 kHz a 6000 kHz. Para esses ensaios foi utilizado o medidor de LCZ - 4192A da Agilent Technologies, que realiza medições para uma faixa de frequência de até 13 MHz, fundamental para fornecer informações reais dos cabos instalados.

Para os ensaios de Impulso Combinado foi utilizado o gerador de impulsos Noiseken, modelo LSS-15AX-C3, locado do Lactec, tendo impedância interna de 2Ω .

Para os ensaios de Transitório Elétrico Rápido, resultado do chaveamento eletromecânico de correntes elétricas indutivas, como motores e solenóides, ruído caracterizado por rajadas de sinais de alta frequência, espaçados por certo intervalo de tempo, foi utilizado um gerador de transitório elétrico rápido, também da Noiseken, modelo FNSAX-II, que atende a norma técnica IEC 61000-4-4.

Para ensaios de Campo Eletromagnético, resultante da corrente de 60 Hz, em regime permanente, foram utilizados os equipamentos: QuadTech, tipo 1693 RLC Digibridge e um transformador especialmente construído para os ensaios, com baixa impedância de saída e capacidade máxima de corrente de 500 A. Para estes ensaios foi utilizada uma corrente de 100A RMS.

3.2 Realização dos Ensaios

Para o ensaio de Impulso Combinado, foram aplicados transitórios, que simularam a presença de ondas impulsivas, similares às das descargas atmosféricas, com a forma de onda $1,5 \times 50\mu\text{s}$ para a tensão e $8 \times 20\mu\text{s}$ para corrente e impulsos de tensão de 1000 V e 500 V.

Esses ensaios de Impulso Combinado utilizaram o layout apresentado na Figura 3, para condutores sem blindagem.

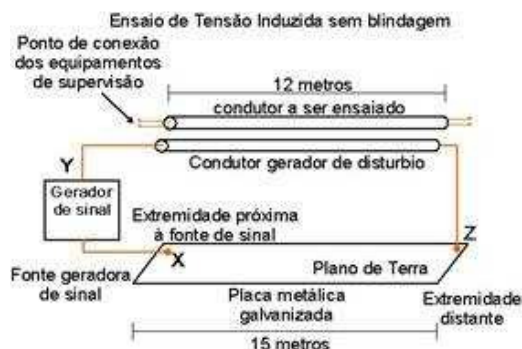


FIGURA 3 – Layout de montagem do ensaio de tensão induzida sem aterramento da blindagem

Para condutores com blindagem, foi utilizado o layout da Figura 4. Neste caso, a blindagem está aterrada no Plano de Terra, somente no lado Z. Foram realizados ensaios com a blindagem aterrada nas duas extremidades do condutor (lado X e Z), aterrada somente no lado X e aterrada somente no lado Z.

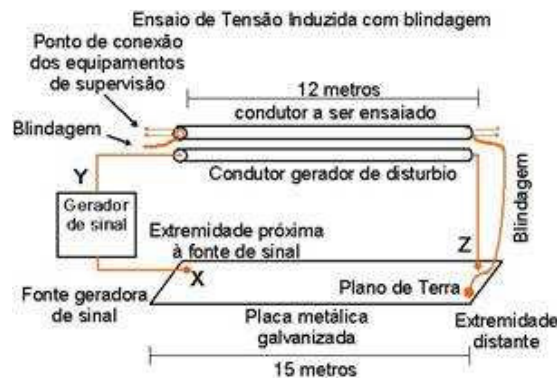


FIGURA 4– Layout de montagem do ensaio de tensão induzida com aterramento da blindagem

Para a aquisição dos dados foi utilizado um osciloscópio marca Rigol, modelo 5202 de 200 MHz e taxa de aquisição de 1GS/s. As medições foram realizadas através de pontas de prova adequadas, conectadas ao osciloscópio e para os ensaios com Transitório Elétrico rápido, foi utilizado o gerador de transitório elétrico rápido. Para este ensaio o condutor gerador de distúrbio teve a sua terminação aterrada ao plano de terra através de uma carga resistiva de 50Ω e foi feita do lado da extremidade distante (Z). Foram aplicados transitórios elétricos rápidos com valor de tensão de crista de 500V e 250V. Foi utilizado para aquisição de dados um osciloscópio da marca Tektronix, modelo TDS 684B, com taxas de amostragem de 5GS/s e largura de banda de 1GHz, utilizando pontas de prova adequadas.

Para os ensaios de Campo Eletromagnético, resultante da corrente de 60 Hz, em regime permanente foi utilizado para aquisição de dados, o osciloscópio marca Rigol, modelo 5202 de 200 MHz e taxa de aquisição de 1GS/s. Nos ensaios onde não houve cabos com diversos condutores, foram selecionados dois fios para as medições, e utilizadas as duas pontas de provas, porém em cabos com apenas um fio interno, utilizou-se apenas uma ponta de prova. Nos cabos com diversos fios internos, foram feitas medições com diferentes condutores e não foi notada nenhuma diferença nos resultados coletados, diante disso, optou-se pela escolha aleatória de tais fios internos.

A medição individual de cada um dos canais do osciloscópio, apresenta a tensão de modo comum, induzida nos fios do condutor em análise. A diferença entre as tensões medidas em cada um dos canais representa a tensão de modo diferencial entre os fios do condutor (subtração do canal 1 em relação ao canal 2). A obtenção dos parâmetros RLC, foi executado com condutores com 1,00 metro de comprimento. Foram ensaiados, ao todo 15 condutores entre, condutores de comunicação, proteção, controle e supervisão, totalizando 60 ensaios e 240 medidas.

4.0 - RESULTADOS

Este trabalho apresentará resultados obtidos somente em dois condutores, sendo um com blindagem e um sem blindagem.

4.1 Dados laboratoriais obtidos do cabo com 20 condutores com blindagem coletiva (Figura 5)

4.1.1 Caracterização do condutor ensaiado

Cabo com 20 condutores (de vários fios de $1,00\text{mm}^2$ CU/PVC/PVC – 750 V – NBR 7289 – 2003), capa externa de PVC preto, blindagem em malha com fios de cobre estanhado, capa de PVC preto entre a blindagem e os condutores, piloto interno central de PVC preto.

Os resultados obtidos do ensaio de impulso combinado utilizando o cabo, com tensão de disparo de 1kV é apresentado na Figura 6. Observar nesta figura o valor de pico da tensão no canal 1. Neste ensaio o condutor está com a blindagem aterrada na extremidade distante (Z). Na Figura 7, pode-se observar o valor de pico da tensão no canal 2.

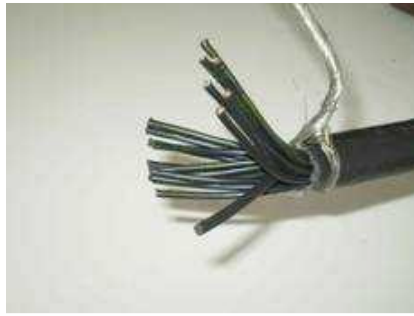


FIGURA 5 – Condutor 12

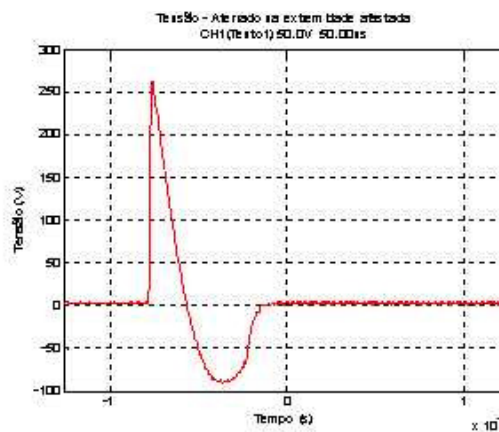


FIGURA 6 – Curva de tensão no cabo com 20 condutores, com aterramento na extremidade distante (canal 1)

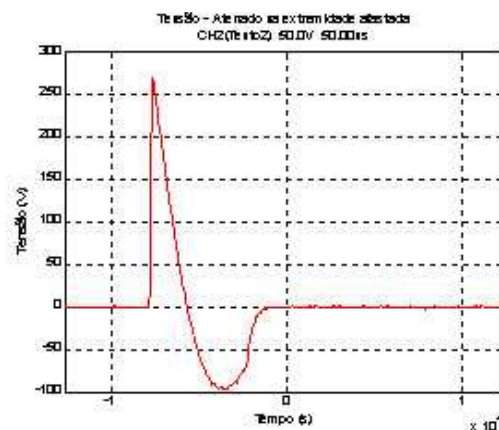


FIGURA 7 – Curva de tensão no cabo com 20 condutores na extremidade distante (canal 2)

Os resultados obtidos do ensaio de transitório elétrico rápido utilizando o cabo de 20 condutores com blindagem e tensão de disparo de 500V é apresentado na Figura 8. Neste ensaio o condutor está com a blindagem aterrada na extremidade distante (Z).

Os resultados obtidos no ensaio de campo eletromagnético, resultante da corrente de 60 Hz, em regime permanente, são apresentados na Figura 9. Neste ensaio o condutor está com a blindagem aterrada na extremidade distante (Z) e é possível observar os valores de pico da tensão.

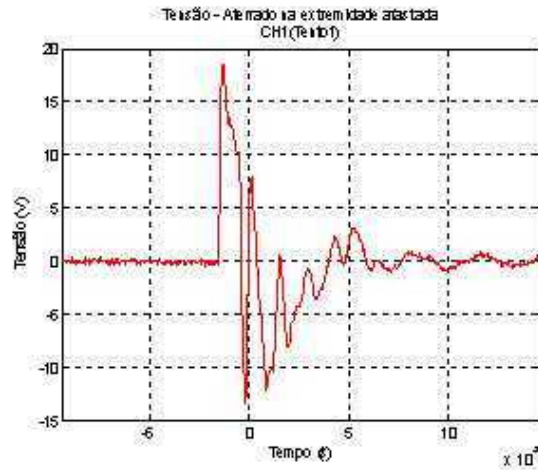


FIGURA 8– Curva de tensão no cabo com 20 condutores, com aterramento na extremidade distante (canal 1)

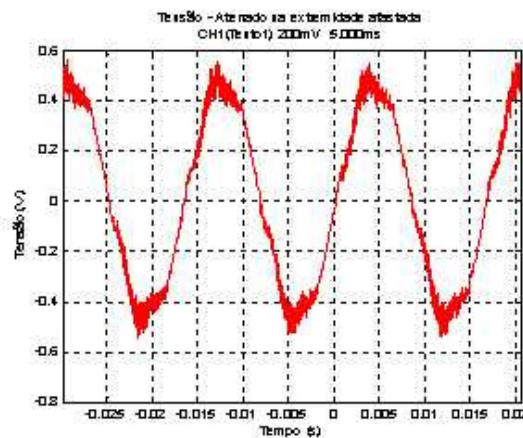


FIGURA 9 – Curva de tensão no cabo com 20 condutores, com aterramento na extremidade distante

4.2 Dados laboratoriais obtidos do cabo com 20 condutores isolados sem blindagem (Figura 10)

4.2.1 Caracterização do Condutor ensaiado

Cabo com 20 condutores (de vários fios de $1,50\text{mm}^2$ – 1kV - PVC/A - ST1 - NBR7289 – 2004), capa externa PVC na cor preta, sem blindagem, condutores isolados envoltos por um plástico transparente, piloto interno central PVC.



FIGURA 10 – Condutor 10

Os resultados obtidos no ensaio de impulso combinado, utilizando o cabo com 20 condutores, sem blindagem, com tensão de disparo de 1kV podem ser observados nas Figuras 11 (canal 1) e 12 (canal 2). É possível observar os valores de pico obtidos.

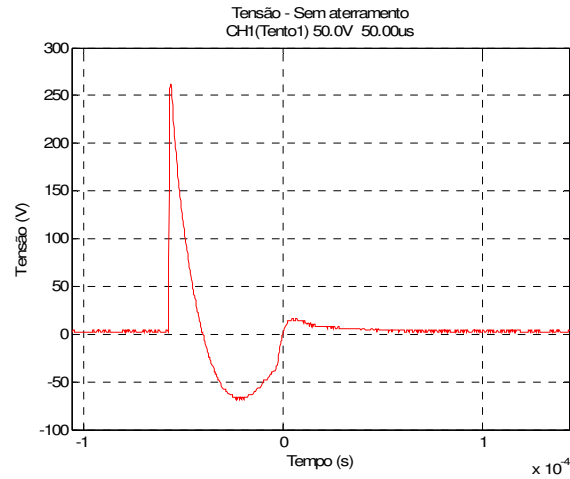


FIGURA 11 – Curva de tensão no cabo com 20 condutores sem blindagem (canal 1)

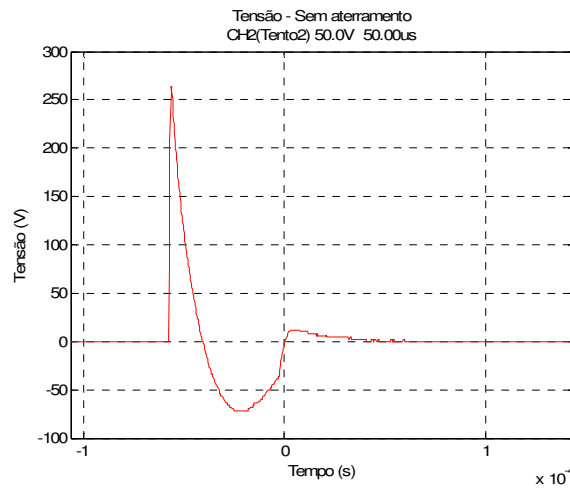


FIGURA 12 – Curva de tensão no cabo com 20 condutores sem blindagem (canal 2)

Os resultados obtidos do no ensaio de transitório elétrico rápido, utilizando o cabo com 20 condutores e com tensão de disparo de 500V é apresentado na Figura 13. Observar nesta figura os valores de pico da tensão.

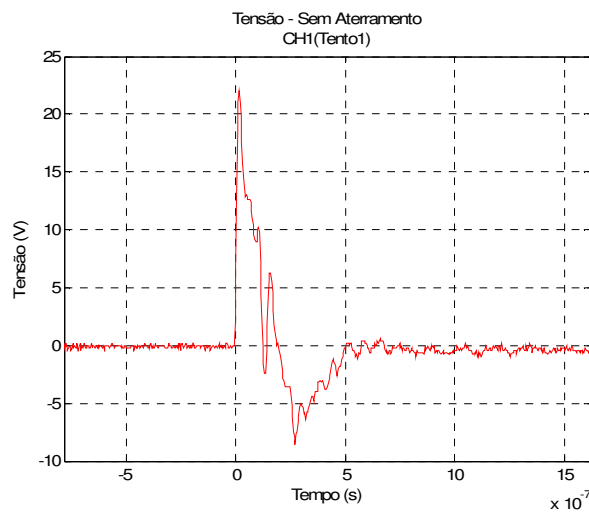


FIGURA 13 – Curva de tensão no cabo com 20 condutores (canal 1)

O ensaio de Campo Eletromagnético, resultante da corrente de 60 Hz, em regime permanente, utilizando o cabo com 20 condutores sem blindagem é apresentado na Figura 14.

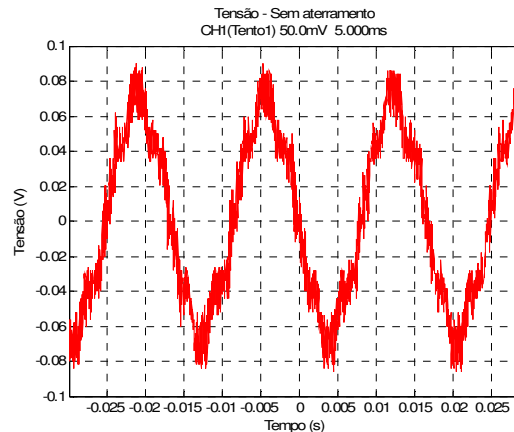


FIGURA 14 – Curva de tensão no cabo com 20 condutores

5.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Pode-se observar nas Figuras 6, 7, 11 e 12, que as amplitudes induzidas nos cabos foram muito parecidas no condutor com e sem blindagem o que poderia ser explicado pelo efeito dos outros condutores (fios) do mesmo cabo fornecer uma blindagem ao condutor onde a medição está sendo realizada. Por outro lado, podemos notar que este efeito não ocorre quando utilizamos um sinal de baixa frequência, como o ensaio de campo magnético proveniente de uma corrente de 60Hz (Figuras 9 e 14). Portanto, como pôde ser observado neste trabalho, a blindagem não contribuiu com uma melhora significativa para interferências de alta frequência.

A obtenção dos parâmetros RLC, indica que os cabos sofrem efeitos diferentes (modelos diferentes) em função da frequência. Enquanto o cabo sem blindagem oferece um valor de resistência cerca de duas vezes menor que o cabo com blindagem (caracterizado pela diferença nas suas seções transversais - $1,5\text{mm}^2$ e $1,00\text{mm}^2$), o oposto ocorre com a capacitância, onde o cabo com blindagem oferece uma capacitância entre condutores cerca de duas vezes menor que o cabo sem blindagem.

Pode-se notar, portanto, que o uso de um cabo com condutores internos de maior seção transversal pode nos fornecer uma proteção com características similares em alta frequência daqueles onde a blindagem está presente.

6.0 - CONCLUSÕES

Os resultados presentes neste trabalho, referem-se apenas a dois tipos de condutores ensaiados, porém, o presente projeto de pesquisa, contempla um enorme número de tipos e modelos de cabo, bem como, os sistemas aos quais eles estão integrados.

Os dados comparados neste trabalho estão sendo utilizados na elaboração de um manual técnico a ser utilizado pela CTEEP para minimizar o efeito das interferências eletromagnéticas nos cabos, devidos as descargas atmosféricas, manobras de chaveamento e o efeito corona.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) RELATÓRIO DE PRODUTO N^o 4, Referente às Atividades de Pesquisa & Desenvolvimento - Avaliação da Susceptibilidade Eletromagnética dos Cabos de Comunicação e Controle de Subestações de Alta Tensão – UNESP/FUNDEB/CTEEP – Março 2008.
- (2) TESCHE, F.M. – IANOZ M. V. – KARLSSON T., EMC Analysis Methods and Computational Models. John Wiley & Sons, INC. New York – 1997 – ISBN 0-471-15573-X.
- (3) TSALIOVICH, A. Cable Shielding for Electromagnetic Compatibility. Chapman & Hall, New York – 1995.

DADOS BIOGRÁFICOS

Antonio Carlos Passos Sartin

Mestrando (previsto 2009) em Engenharia Elétrica na UNESP, Especialista em Comunicações Digitais na UNICAMP (1985) e graduado em Engenharia Elétrica modalidade Eletrônica na FEB (1982).

Empresa: CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista, desde 1985. Atua no Centro de Manutenções Especiais (OMM/B), no laboratório de Proteção e Metrologia. Especialista em aterramento, proteção e compatibilidade eletromagnética em Equipamentos de Tecnologia da Informação.