

Blindagem Shielding Mesh

L. M. Ardjomand, LACTEC, M.N. Silva, AMPLA,
N.S.R. Quoirin, LACTEC, e R. L. Araújo, LACTEC

Resumo – Este artigo técnico apresenta o desenvolvimento de uma nova filosofia de blindagem para cabos de sinal e de controle, passível de aplicação em subestações e outras instalações do setor elétrico. O trabalho foi desenvolvido no projeto intitulado “Novas Técnicas em Compatibilidade Eletromagnética para Subestações” realizado para a AMPLA - Eletricidade e Serviços S/A - pelo LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento através de sua Unidade de Tecnologia em Compatibilidade Eletromagnética no âmbito do programa de pesquisa e desenvolvimento ANEEL, ciclo 2003/2004.

Palavras-chave—Blindagem, Interferência, Compatibilidade Eletromagnética, Surtos, Transitórios Elétricos.

I. INTRODUÇÃO

Com a digitalização dos equipamentos utilizados no setor elétrico, ocorrida nas últimas duas décadas, os requisitos de compatibilidade eletromagnética, principalmente em subestações, foram substancialmente modificados, tornando-se muito mais rígidos devido à presença de equipamentos extremamente sensíveis.

Em subestações novas, os requisitos de compatibilidade são levados em conta desde a fase inicial do projeto, o que representa uma grande economia de tempo e de recursos financeiros. Desta forma, as novas instalações são construídas com a garantia de uma melhor integridade para os equipamentos sensíveis nela instalados.

No caso de subestações antigas em fase de digitalização, medidas especiais devem ser tomadas na instalação de novos equipamentos sensíveis. Tais medidas, como a segregação de cabos ou ainda a troca de cabos antigos por cabos blindados, são inviáveis de serem realizadas com a instalação em funcionamento.

Neste contexto a pesquisa realizada tem como objetivo primordial o desenvolvimento de uma blindagem com características de maleabilidade que permitam sua implantação em instalações antigas em fase de digitalização ou mesmo em novas instalações a custos competitivos com as tecnologias utilizadas atualmente.

A tecnologia de blindagem, batizada pela equipe do projeto como “shielding bag”, foi desenvolvida de acordo com as seguintes premissas:

- Eficiência compatível com as técnicas tradicionais de blindagem adotadas por empresas do setor elétrico;
- Facilidade de instalação e manutenção;
- Custo financeiro compatível;
- Possibilidade de implantação com o sistema ener-

gizado.

Estes critérios visam basicamente o atendimento às necessidades da AMPLA levantadas no projeto de P&D, e que também refletem as necessidades de muitas outras concessionárias nacionais.

II. BANCADA PARA ENSAIOS

Para a realização da pesquisa com blindagens, o LACTEC construiu uma bancada específica para este tipo de ensaio. Esta bancada é composta de quatro mesas de suporte, cada uma medindo 2,5 metros de comprimento, 40 cm de largura e 80 cm de altura em relação ao solo. As mesas foram construídas totalmente em madeira encaixada, sem nenhum tipo de objeto metálico como pregos ou parafusos de modo a se evitar qualquer tipo de interferência na área dos ensaios, bem como para proporcionar repetibilidade em todas as medições realizadas.

As mesas foram colocadas sobre um plano metálico composto de chapas de aço galvanizado, medindo 14 metros de comprimento e 1 metro de largura. Este plano oferece uma baixa impedância de retorno aos transitórios eletromagnéticos aplicados nos ensaios, assim como características físicas passíveis de reprodução.

O conjunto formado entre as mesas de madeira e o plano metálico fornece um caminho de 12 metros de comprimento. O arranjo permite a realização de ensaios com blindagens através da colocação de cabos geradores de distúrbios em paralelo com cabos sensíveis, de modo a se avaliar o acoplamento entre estes dois tipos de cabos para cada um dos diferentes tipos de transitórios eletromagnéticos aplicados.

Na Figura 1 é apresentado um esquemático simplificado da bancada de ensaios.

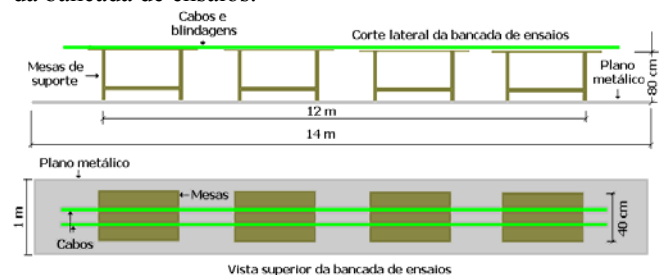


Figura 1 - Vista da bancada de ensaios em dois cortes

Na Figura 2 e na Figura 3 são apresentadas duas fotografias da construção da bancada de ensaio.



Figura 2 - Vista da construção da bancada de ensaios



Figura 3 - Vista da construção da bancada de ensaios

Na Figura 4 e na Figura 5 são apresentadas vistas da construção do plano metálico.



Figura 4 - Construção do plano metálico



Figura 5 - Construção do plano metálico

A bancada de ensaios foi implantada no pátio do Laboratório de Emissões Veiculares do LACTEC em Curitiba, ao ar livre de modo a se evitar qualquer tipo de interferência eletromagnética que viesse a comprometer os resultados da pesquisa.

Para a implantação neste local foi necessária a construção de um abrigo para a proteção dos equipamentos sensíveis utilizados. Na Figura 6 é apresentada uma vista geral da bancada em funcionamento.



Figura 6 - Bancada de ensaios em blindagens

III. TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS

Para a realização dos ensaios em blindagens foram aplicados diferentes tipos de transitórios eletromagnéticos, de maneira a simular o ambiente observado nas subestações da AMPLA. A seguir são listados os tipos de transitórios e a correspondente fonte.

A. Impulso combinado

Este ensaio visa simular a presença de ondas impulsivas de origem atmosférica. Conforme apresentado no gráfico da Figura 7, os impulsos possuem forma de onda $1,5 \times 50 \mu\text{s}$ para tensão e $8 \times 20 \mu\text{s}$ para corrente.

Para a aplicação deste tipo de distúrbio, foi utilizado um gerador de impulsos com impedância interna de 2Ω , fabricante NoiseKen, modelo LSS-15AX-C3, apresentado na Figura 8.

Nos ensaios, foram aplicados impulsos com tensão de crista de 1,2 kV e corrente máxima de 600 A.

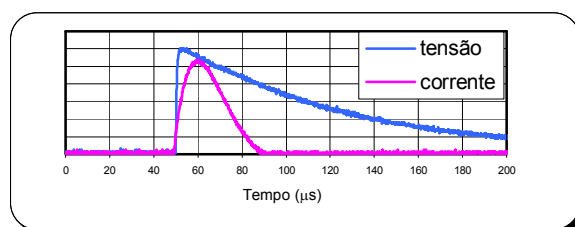


Figura 7 - Forma de onda impulsiva conforme a norma IEC 61000-4-5



Figura 8 - Gerador de Impulso

B. Transitório Elétrico Rápido

Este tipo de fenômeno eletromagnético é resultante do chaveamento eletromecânico de correntes elétricas induti-

vas, como motores e solenóides. É um ruído caracterizado por rajadas de sinais de alta frequência espaçados por um certo intervalo de tempo.

Para a reprodução do fenômeno, foi utilizado um gerador de transitórios elétricos rápidos, fabricante NoiseKen, modelo FNSAX-II, construído em conformidade com a norma técnica IEC 61000-4-4.

Na Figura 9 é apresentada a forma de onda de uma sequência de transitórios elétricos rápidos medida em uma das subestações da AMPLA. A Figura 10 apresenta a forma de onda padrão segundo a norma IEC 61000-4-4. Na Figura 11 é apresentado o gerador utilizado.

Para a realização dos ensaios, foram aplicados transitórios elétricos rápidos com valor de tensão de crista de 800 V.

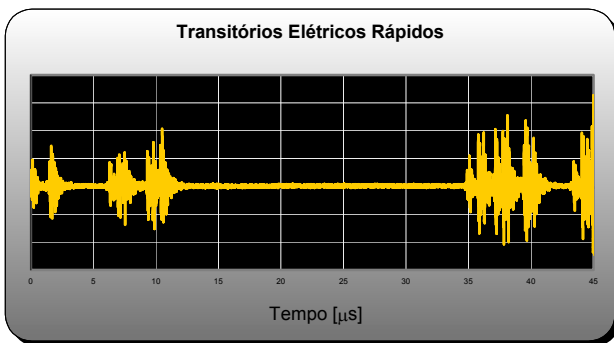


Figura 9 - Transitório elétrico rápido medido na SE Zona Sul, AMPLA

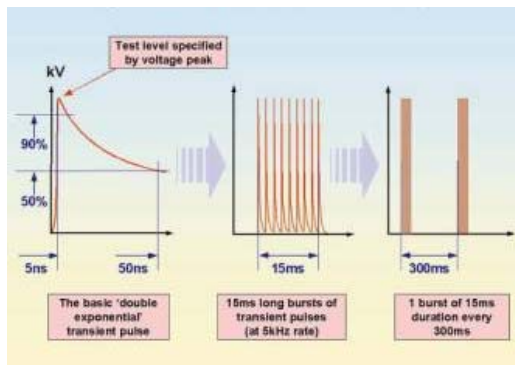


Figura 10 - Forma de onda padronizada pela norma IEC 61000-4-4



Figura 11 - Simulador de transitórios elétricos rápidos

C. Corrente em 60 Hz

O último tipo de fenômeno eletromagnético simulado foi o campo magnético resultante da corrente de 60 Hz em regime permanente.

Este tipo de fenômeno foi simulado através de um transformador especialmente construído para esta finalidade, com baixa impedância de saída e capacidade máxima de corrente de saída de 350 A. Durante os ensaios foi utilizada uma corrente de 30 A RMS.

IV. APLICAÇÃO DOS DISTÚRBIOS

Os distúrbios eletromagnéticos foram aplicados em um cabo convencionado “guia”, com retorno via o plano metálico de aterramento. Para a verificação da eficiência das blindagens ensaiadas, o cabo guia foi posicionado a diferentes distâncias de um circuito composto por dois cabos de sinal com resistores de 100Ω nas pontas. Para a avaliação, foram empregados diferentes tipos de blindagens com diferentes distâncias dos cabos sensíveis ao cabo guia. Um circuito elétrico resumido do ensaio é apresentado na Figura 12.

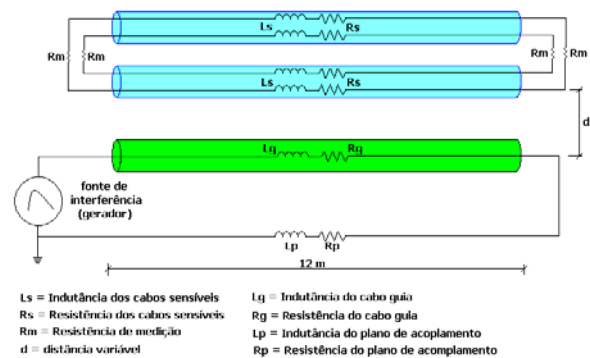


Figura 12 - Diagrama elétrico do circuito de ensaio

A avaliação das blindagens foi feita através da medição das tensões induzidas sobre as resistências de medição instaladas nos cabos sensíveis. As medidas foram realizadas com um osciloscópio Tektronix, modelo TDS 684B, com taxa de amostragem de 5 GS/s e largura de banda de 1 GHz.

As tensões medidas foram comparadas para cada tipo de blindagem para a determinação das mais eficientes.

V. TESTES REALIZADOS

Inicialmente, foram realizados ensaios sem nenhum tipo de blindagem nos cabos sensíveis para a verificação do acoplamento entre os circuitos em diferentes condições construtivas. Em seguida, cada tipo de blindagem foi testado nas mesmas condições.

A seguir são apresentados os tipos de blindagens ensaiados.

1) Blindagem tipo canaleta de aço galvanizado.

Foram realizados ensaios com canaletas convencionais empregadas no setor elétrico, de aço galvanizado e com espessura da parede igual a 1 mm. Utilizaram-se dois tipos de canaletas, a primeira com furos de ventilação e a segunda com paredes sólidas sem furos.

Na Figura 13 são apresentadas os dois tipos de canaletas utilizados.



Figura 13 - Canaletas de aço galvanizado (sólida e perfurada)

As canaletas de parede sólida foram construídas sob encomenda, uma vez que, ao contrário das canaletas perfuradas encontradas com facilidade no mercado, este tipo não é disponível comercialmente.

Para cada tipo de canaleta, foram realizados ensaios em diferentes disposições físicas, conforme apresentado na Figura 14.

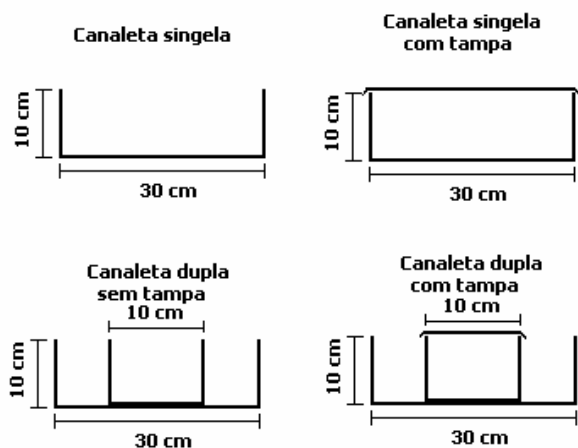


Figura 14 - Disposições físicas dos ensaios com as canaletas

2) Blindagem do tipo Shielding Bag

A blindagem desenvolvida pelo LACTEC consiste na utilização de uma malha metálica flexível que envolve os cabos a serem blindados. Este desenvolvimento permite que o processo de instalação seja feito em subestações antigas ou novas, energizadas ou não, devido principalmente à maleabilidade do tecido metálico utilizado.

Na Figura 15 e na Figura 16 são apresentadas duas vistas da preparação das blindagens.



Figura 15 - Corte da tela para a construção da blindagem



Figura 16 - Corte das telas para a construção das blindagens

Para a construção das blindagens, a tela foi cortada em tiras com largura de aproximadamente 50 cm. Uma vez cortadas, os cabos a serem blindados foram então envolvidos por este tipo de malha metálica. Na Figura 17 e na Figura 18 são apresentadas duas vistas da blindagem já instalada.



Figura 17 - Blindagem shielding bag



Figura 18 - Blindagem shielding bag

Para esta pesquisa, foram utilizadas telas metálicas de três tipos de materiais distintos:

Aço inox AISI 304: tela construída com fio metálico com diâmetro de 0,36 mm, malha 18 ffp e abertura de 1,05 mm. Esta tela é encontrada no mercado em rolos de 1,2 m de largura, contendo a composição química apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química da tela de aço inoxidável AISI 304

Elemento Químico	Cr	Ni	Si	P	S	Mn	Mo
Quantidade [%]	18,34	8,1	0,43	0,03	0,07	1,68	Não determinada

Latão: tela construída com fio metálico com diâmetro de 0,36 mm, malha 18 ffp e abertura de 1,05 mm. Esta tela é encontrada no mercado em rolos de 1,0 m de largura, contendo a composição química apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Elementos químicos da tela de latão

Elemento Químico	Cu	Zn
Quantidade [%]	65	34,5

Aço Galvanizado: tela construída com fio metálico galvanizado com diâmetro de 0,36 mm, malha 18 ffp e abertura de 1,05 mm. Esta tela é encontrada no mercado em rolos de 1,0 m de largura.

VI. RESULTADOS ENCONTRADOS

Neste trabalho são comparados os resultados encontrados em duas configurações geométricas distintas chamadas de condição A e B, ambas apresentadas na Figura 19.

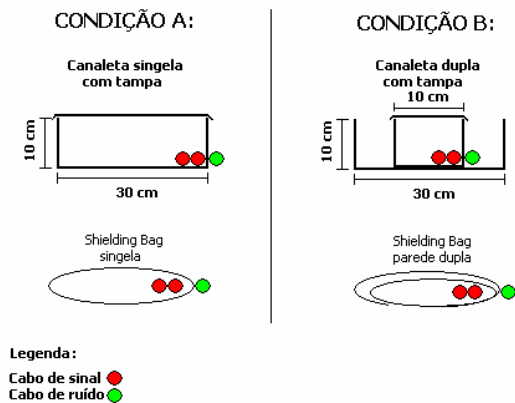


Figura 19 - Condições referentes aos resultados apresentados

Em cada configuração foram realizadas medições das tensões induzidas em modo comum e em modo diferencial. Desta forma, foi produzida uma grande quantidade de dados a serem analisados. Para fins de ilustração, a seguir são apresentados exemplos de dados para uma determinada configuração geométrica, para cada um dos transitórios eletromagnéticos aplicados. As curvas dos gráficos representam as tensões induzidas nos cabos sensíveis por ocasião dos sinais aplicados ao cabo guia.

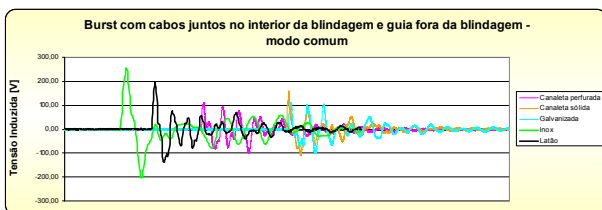


Figura 20 - Resultados para transitórios elétricos rápidos

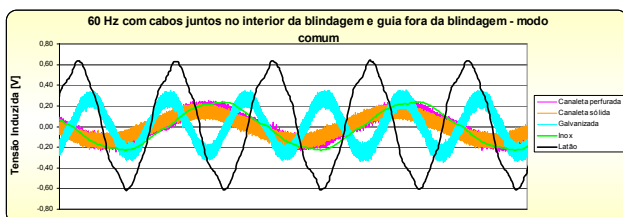


Figura 21 - Resultados para corrente em 60 Hz

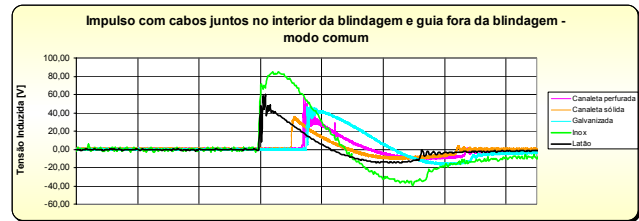


Figura 22 - Resultados para impulso combinado

A. Análise dos Resultados

Para facilitar a análise dos dados obtidos, foi criada a Tabela 3 apresentando de forma consolidada os resultados de cada uma das blindagens testadas. Os valores de atenuação de cada blindagem estão expressos em dB, conforme a equação abaixo:

$$\text{Atenuação} = 20 \cdot \log\left(\frac{V_{ib}}{V_{sb}}\right)$$

onde

V_{ib} = Tensão induzida com a blindagem

V_{sb} = Tensão induzida sem a blindagem

Segundo esta equação, uma blindagem será mais eficiente quando menor for o valor de sua atenuação expresso em dB.

Na Tabela 3, para cada tipo de sinal aplicado e configuração física do experimento, a blindagem com a melhor eficiência está destacada em verde, e a de pior eficiência está destacada em vermelho.

Tabela 3 - Quadro com os resultados das pesquisa com blindagens

Sinal Aplicado	Configuração	Modo	Atenuação das blindagens em dB				
			Canaleta perfurada	Canaleta sólida	Tela Galvanizada	Tela Inox	Tela Latão
60 Hz	A	Comum	-24,41	-25,40	-21,29	-25,04	-16,50
	B		-24,41	-25,40	-24,14	-25,86	-15,80
Transitórios rápidos	A	Comum	-12,44	-9,41	-12,60	-5,39	-7,64
	B		-6,92	-9,08	-8,58	-6,34	-6,95
	A	Diferencial	-25,08	-25,41	-22,39	-17,69	-15,47
	B		-17,87	-23,25	-26,61	-23,12	-20,25
Impulso	A	Comum	-20,69	-24,55	-22,13	-17,19	-20,22
	B		-18,68	-23,49	-21,13	-19,71	-20,78
	A	Diferencial	-14,22	-17,22	-15,86	-13,73	-26,55
	B		-19,37	-24,56	-28,64	-13,73	-23,03

Analisando-se todas as informações colhidas durante o processo de pesquisa com as blindagens pode-se obter as seguintes conclusões:

- As blindagens do tipo *shielding bag* possuem um com-

portamento bastante similar ao das canaletas utilizadas usualmente no setor elétrico;

- Dentre as blindagens do tipo *shielding bag*, a que apresentou melhores resultados foi a constituída de tela de aço galvanizado, o que a torna a blindagem mais promissora para a aplicação em campo;
- As blindagens do tipo *shielding bag* podem ser melhoradas com a redução do tamanho das malhas utilizadas.

B. Aspectos Financeiros

As telas utilizadas para a construção das blindagens *shielding bag* possuem um custo financeiro aproximadamente 15% superior ao custo da canaleta perfurada convencional e aproximadamente 20% inferior ao custo da canaleta sólida para cada metro de blindagem.

Porém, levando-se em consideração que as canaletas utilizadas possuem largura igual a 30 cm e altura igual a 10 cm, e que um metro de tela permite a construção de uma blindagem de 2 metros de comprimento, os custos financeiros relativos passam a ser os seguintes:

- O custo por metro da blindagem *shielding bag* é 42,5 % inferior ao custo do metro de uma canaleta convencional perfurada;
- O custo por metro da blindagem *shielding bag* é 60 % inferior ao custo por metro de uma canaleta rígida.

VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo, tanto financeiros quanto técnicos, apontam para uma utilização promissora das blindagens do tipo *shielding bag* em aplicações dentro do setor elétrico, especialmente em subestações.

Levando-se em consideração os problemas apontados no tocante à segregação de cabos, esta solução torna-se bastante atraente para o caso da AMPLA, podendo ainda atender a diversas outras concessionárias nacionais.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dias, Guilherme A D., Telló, Marcos – PUC-RS – **Diagnóstico de Compatibilidade Eletromagnética em Subestações de Alta Tensão** – Revista Eletricidade Moderna – Maio/2000.
- [2] Daconti, José Rafael, Consultor; Saad Jr., João, CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – **Compatibilidade Eletromagnética entre Equipamentos de Subestações e Usinas** – Revista Eletricidade Moderna – Novembro/2000.
- [3] Paulino; José Osvaldo S.; Souza Jr., Moacir de; Murta, Marisa Lages – **Técnicas de Blindagem de Campos Magnéticos de 60 Hz** – Revista Eletricidade Moderna – Agosto/2000.
- [4] Sobral, Sérgio T.; Sobral S. C., ST & SC Serviços Técnicos – **Tecnologia de Blindagem em Instalações de Usinas, Linhas e Subestações** – Revista Eletricidade Moderna – Agosto/2000.
- [5] Matias, Ricardo Marçal – CEFET-PR, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – **Blindagens Contra EMI: Princípios, Tipos e Eficiências** – Revista Eletricidade Moderna - Março/1999.
- [6] Campaner, Ronni M - Intertechne; Fujino, Thutomu, COPEL. – **Dificuldades no Cumprimento dos Critérios para Mitigação das Interferências** – Revista Eletricidade Moderna – Fevereiro/2001.
- [8] White, Donald R. J., “**A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility – EMI Control Methods And Techniques – Volume III**” - Don White Consultants – Germantown, Maryland, 1973.
- [9] White, Donald R. J., “**A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility – EMI Control Methods And Techniques – Volume II**” – Don White Consultants – Germantown, Maryland, 1973.
- [10] White, Donald R. J., “**A Handbook on Electromagnetic Shielding - Materials and Performance**” – Don White Consultants – Gainesville, Virginia, 1980.
- [11] Christopoulos, Christos, “**Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility**” – CRC Press – Nottingham, England, 1995.