



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

COMPARATIVO DOS EFEITOS DA DESCARGA ATMOSFÉRICA EM SISTEMA COMPOSTOS POR CABOS AÉREOS E SUBTERRÂNEOS SECOS OU A ÓLEO

Alexandre Shozo Onuki	Marcelo Lynce	José de Melo Camargo
UNISANTA - Universidade Santa Cecília	UFU - Universidade Federal de Uberlândia	AES – Eletropaulo
onuki@unisanta.br	lynce@ufu.br	jose.camargo@AES.com

PALAVRAS-CHAVE

**Coordenação de Isolamento
Cabos Subterrâneos
Distribuição**

RESUMO

Este trabalho visa o estudo da coordenação de isolamento em sistema misto aéreo-subterrâneo-aéreo utilizados na subtransmissão, tendo como foco as diferenças comportamentais em relação à utilização de cabos subterrâneos de alta tensão com princípio de isolamento a óleo (fabricados até o ano de 2000) pelo a seco que atualmente é fabricado, sendo o motivador a crescente utilização deste tipo de sistema em grandes metrópoles em decorrência a falta de espaço físico e da modificação da tecnologia de fabricação de cabos. Para convalidar as simulações foi utilizado como uma parte do sistema de subtransmissão da AES – Eletropaulo e modelado através de aplicativo computacional. Os resultados obtidos mostraram um aumento de até 5% nas tensões em decorrência de descargas atmosféricas quando da substituição dos cabos antigos pelo fabricados atualmente. Por se tratar de um sistema típico de subtransmissão, os resultados poderão se estender as outras distribuidoras de energia norteadas assim futuros projetos e a substituições de cabos.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento desgovernado das grandes metrópoles como São Paulo originou-se diversos problemas na distribuição elétrica como, cargas pontuais de valor elevado, a ausência de espaço para instalações futuras assim como as torres de subtransmissão que as abastecem, para se contornar este problema são normalmente utilizadas linhas mistas compostas por trechos aéreos e subterrâneos, que além de contornar o problema reduz a poluição visual e o custo de manutenção, com todos estes fatores a utilização de linhas subterrâneas para transmissão de energia vem se tornando cada vez mais comum.

Este artigo tem a objetivo realizar um estudo comparativo dos efeitos das descargas atmosféricas neste tipo de linha em diferentes configurações típicas e utilizando dois tipos de cabos os de óleo pressurizados e os secos que são utilizados atualmente.

O sistema utilizado que interliga em 88 (kV) a SE (Estação Transformadora da Transmissão) Bandeirantes as ETD's (Estação Transformadora de Distribuição) Morumbi, Granja Julieta e Alto da Boa Vista que originalmente aéreo, entretanto com a necessidade da implantação de uma ponte, terá que passar por um trecho subterrâneo de aproximadamente 1 (KM).

Devido à complexidade do estudo e das inúmeras variáveis que envolvem este trabalho será utilizado um aplicativo computacional (EMTP/ATP-DRAW) que será imprescindível para a simulação, pois se tratando de um programa consagrado mundialmente neste segmento de pesquisa garantirá a

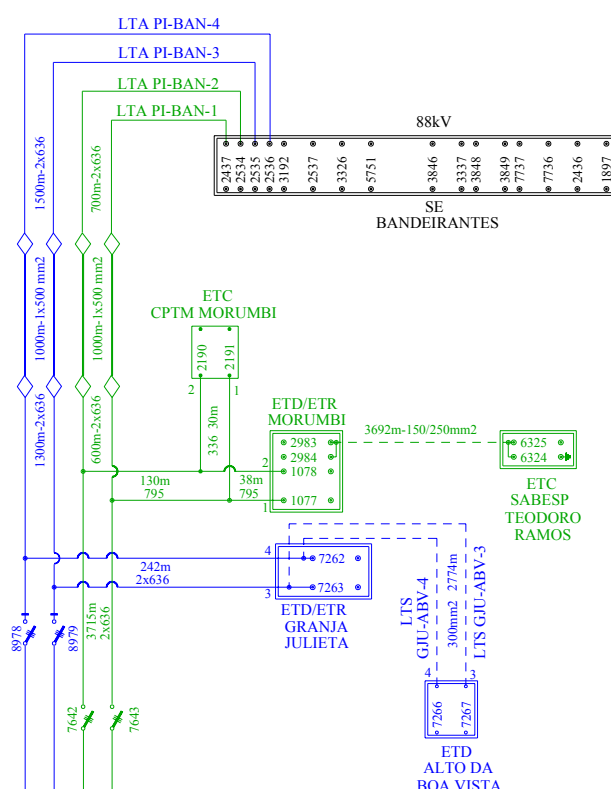
consistência dos resultados, para tanto serão realizado simulações de forma sistemática e abrangente levando em consideração as diversas variáveis no estudo deste caso.

Análise final dos resultados sugere mudança na concepção de projetos futuro a instalação de pára-raios e a alteração em relação as diferentes configurações da instalação e característica dos cabos no ponto de vista da coordenação de isolamento.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

Sistema de subtransmissão analisado no estudo interliga a SE Bandeirantes as ETD's Granja Julieta, Alto da Boa Vista e Morumbi e as ETC's (Estação Transformadora do Consumidor) CPTM – Morumbi e SABESP – Teodoro Ramos. A figura 1 ilustra as estações citadas e as conexões em 88 kV envolvidas na pesquisa.

Ilustração 1 – Sistema de subtransmissão



A SE Bandeirantes é alimentada em 345 kV através do sistema Xavantes e distribui em dois níveis de tensão 20, 34 e 88 kV, alimentando parte da subtransmissão da cidade de São Paulo através ETD, são alimentadas em 88 kV e distribuem em 13,8 kV tendo como principal característica alimentação aos consumidores residenciais, as ETC's são alimentadas em 88 ou 34,5 kV e supre apenas um grande consumidor.

O estudo tem como foco principal à interligação entre a SE Bandeirantes e as ETD's através do sistema de subtransmissão realizado por quatro linhas mistas LTA-PI-BAN 1 a 4 com características mistas (aérea – subterrâneas – aérea) conforme ilustração 01.

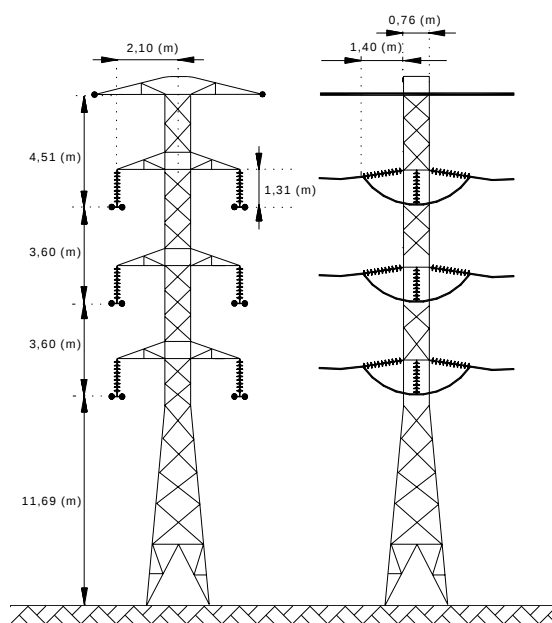
3. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Serão descritos os equipamentos de maior relevância para o estudo com as linhas de transmissão, cabos subterrâneos, pára-raio, sistema de aterramento.

3.1 Linha de Transmissão

O sistema de transmissão é composto por Torres (Ilustração 2), distanciadas em 80 m em média. Sendo cada fase constituída de dois cabos de alumínio com alma de aço de 636 MCM separados em 10 cm e o cabo pára-raio constituído de aço galvanizado 3/8.

Ilustração 2 – Detalhes construtivos das Torres de Transmissão

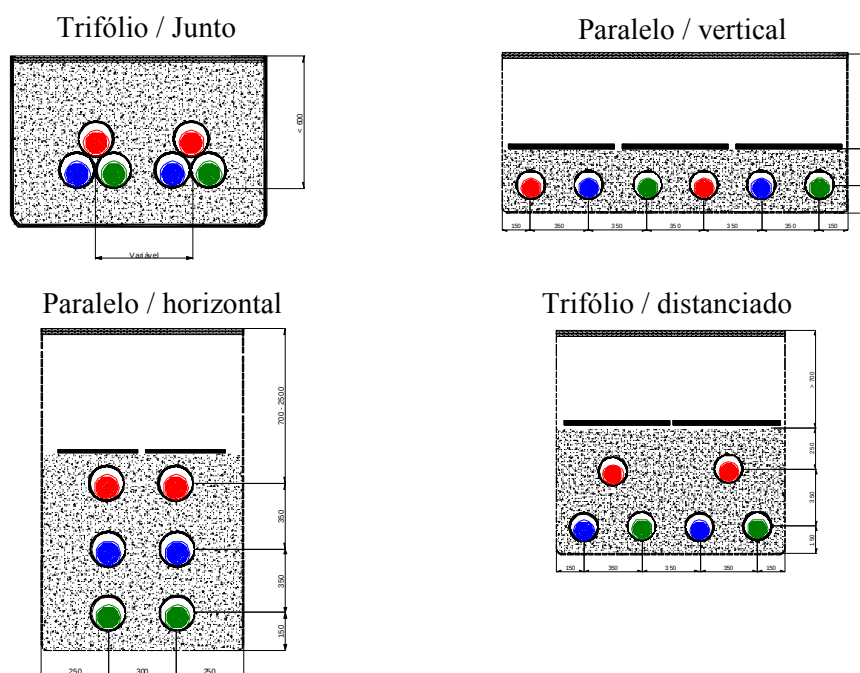


3.2 Cabos Subterrâneos

Instalação

Os cabos subterrâneos são instalados conforme padrão adotado pela concessionária de energia, na ilustração 03 demonstra os utilizados na pesquisa.

Ilustração 3 – Detalhes da Geometria da Instalação dos cabos subterrâneos



Cabo subterrâneo óleo

Cabo subterrâneo a óleo utilizado no estudo é de 400 mm² com classe de isolamento 138 kV. Tipo singelo, a óleo de baixa pressão, com as características a seguir:

- Parâmetros Elétricos:
 - a) Resistência do condutor em CC a 20° C: 0,04483 Ω/Km
 - b) Capacitância da isolamento: 0,346 μF/ Km
 - c) Potência dissipada pelo condutor: 17,93 W/ Km
 - d) Potência dissipada pelo dielétrico: 3,31 W/ Km
 - e) Potência dissipada pelas proteções metálicas: 10,38 W/ Km
 - f) Potências Calculadas nos seguintes para 138 MVA

Cabo subterrâneo seco

Cabo subterrâneo seco utilizado no estudo é de 500 (mm²) com classe de isolamento 145 kV. Sendo que os dados foram levantados junto à empresa EDS Engenharia e Consultoria Ltda, que fornece projeto dos cabos subterrâneos para concessionária de energia, cujo detalhamento de suas características a seguir:

- Parâmetros Elétricos:
 - a) Impedância de sequência zero: 0,24347 + J 0,1893 Ω/Km
 - b) Impedância de sequência positiva/negativa: 0,07922 + J 0,1892 Ω/Km
 - c) Capacitância da isolamento: 0,1833 μF/ Km
 - d) Impedâncias calculadas para temperatura de 90°C no condutor.

3.3 Sistemas de Aterramento

Torres de Transmissão

O método de aterramento de torres de transmissão consiste em enterrar quatro cabos de aço de 50 m a uma profundidade de aproximadamente 1 m.

O valor da resistência equivalente deste tipo de aterramento é de 10 Ω, sendo que este valor é adotado mínimo de resistência.

Estações de Distribuição:

Em cada estação existe um padrão de malha de aterramento que depende da topologia do terreno, da filosofia do projeto. Para este estudo serão utilizados valores levantados em uma estação de distribuição como padrão o valor da resistência de aterramento encontrado é da ordem de 0,6 Ω.

3.4 Pára-raio

Para-raio Zn com corpo de polímero, sem centelhador série, tensão 120/84 kV. Instalados nas entradas das Estações de Distribuição e nos barramentos das Subestações, sendo instalado um por cada fase. Os dados utilizados foram fornecidos pelo fabricante.

Ensaio De Tensão De Referência a Frequência Industrial

O pára-raios foi submetido ao ensaio de tensão de referência (tabela 01), Vref kV, segundo IEC 60099.4/01, sendo que, a tensão de referência medida está de acordo com o especificado pelo fabricante (de 82.1 a 98.8 para 84 kV e de 117 a 140.0 kV para 120 kV).

Tabela 01 – Resultado dos Ensaio laboratoriais do pára-raio

amostra	01	02	03	04
Vref (84 kV)	87.28	87.20	86.32	86.46
Vref (120 kV)	125.28	125. 52	125.84	125. 52
Iref (mA)	5	5	5	5

Ensaio de Tensão Residual Sob Corrente de Descarga Nominal Reduzida

Os pára-raios foram submetidos ao ensaio de tensão residual (tabela 02) com aplicações de impulsos de corrente normalizada reduzida de 5.0 kA 8/20μs com uma máxima tensão residual de 212 kV para Vn 84 kV e 307.0 kV para Vn 120 kV, segundo IEC 60099.4/01.

Tabela 02 – Resultado dos Ensaio laboratoriais do pára-raio

amostra	01	02	03	04
I kA	5.00	5.00	5.00	5.00
Vres 84 kV	202.4	202.4	202.8	203.5
Vres 120 kV	291.3	291.3	292.7	292.9

4 LEVANTAMENTO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O levantamento das descargas atmosférica na Cidade de São é realizada pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR contratada pela AES – Eletropaulo, tendo como base os dados registrados no ano de 2004 foi possível levantar os níveis de corrente, quantidade, a sazonalidade, multiplicidade e a polaridade das descargas.

A partir deste levantamento poderemos verificar:

- Descargas negativas são praticamente 95 % do total das descargas.
- Que 85 % das descargas atmosféricas têm um nível de corrente inferior a 30 kA.
- Que 45 (%) do total de eventos são de descargas simples.
- Que os eventos múltiplos têm no máximo 8 descargas atmosféricas.
- Que os eventos múltiplos as descargas subseqüentes a primeira são menores em 40 (%) a inicial em média.

5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para simulação computacional será utilizado o aplicativo ATP tem grande versatilidade por utilizar o método de matriz de admitâncias de barras. A formulação matemática é baseada no método das características (Bergeron) para elementos com parâmetros distribuídos e na regra de integração trapezoidal para parâmetros concentrados. Durante a solução serão utilizadas técnicas de esparsidade e de fatorização triangular otimizada de matrizes.

Todos os modelos serão desenvolvidos em função da necessidade do estudo, por se tratando de um estudo sobre transitórios eletromagnéticos serão utilizados pequenos intervalos de tempo de amostragem na simulação, sendo assim necessário a redução do circuito sem comprometer a veracidade dos resultados. O dados característicos dos equipamentos que não foram levantados foram assumindo valores típicos de conforme a disponibilidade de dados. O teste de consistência do modelo será feito de forma individual nos principais elementos do sistema elétrico, tendo como parâmetros comparativos as medições e os valores teóricos calculados.

5.1 Linha de Transmissão

A linha de transmissão é o meio de entrada (Cabo guarda, torre ou Fase) do surto atmosférico no sistema elétrico. Devido a sua importância nos resultados das simulações serão representados através de impedâncias com parâmetros distribuídos que variam em função dos tempos de propagação do surto.

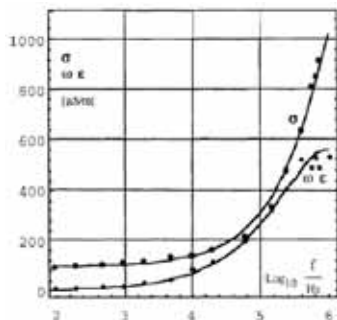
5.2 Cabos Subterrâneos

Os cabos monofásicos subterrâneos têm a mesma função e características do aéreo, porém devido as suas próprias características geométricas, de camadas de blindagens, isolantes, semicondutoras alteram suas características de isolamento reduzindo seu valor, com esse efeito é possível se atenuar o efeito da tensão induzida, além disso, a capacidade de propagação de onda reduzindo na ordem de um terço da velocidade da luz, devido ao meio dielétrico utilizado no isolamento. Devido esta complexidade, o modelo do cabo subterrâneo e seus inúmeros parâmetros citados anteriormente, será modelado através da rotina “CABLE CONSTANTS” que possibilita o levantamento dos parâmetros distribuídos dos cabos de acordo modelo “Jmarti”.

5.3 Aterramento

No estudo deste tipo foi admitida uma frequência equivalente de até 500 kHz durante os transitórios eletromagnéticos de uma descarga atmosférica, sendo necessário à análise do comportamento da impedância do solo em frequências elevadas, para tanto foi utilizado como referência a dissertação de mestrado “Comportamento Eletromagnético do Solo no Domínio da Frequência: Tratamento de Dados de Campo e Influência no Desempenho de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica” de autoria de João Bosco Gertrudes [5]

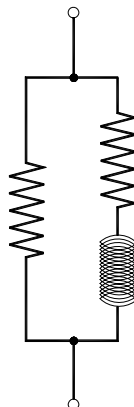
Ilustração 04 – Comportamento dos Parâmetros Elétricos do Solo em Função da Frequência



Analisando a Ilustração 04 para uma frequência de 500 kHz pode-se considerar um aumento da resistividade ρ de aproximadamente em 8 vezes.

Desta forma foram desenvolvidos circuitos equivalentes ao filtro passa baixa (ilustração 05) que simulam esta variação.

Ilustração 05 – Circuito Equivalente ao Aterramento



5.4 Pára-Raios

Para a simulação do Pára-raios ZNO será utilizado o resistor que tem por característica o comportamento exponencial e seu valor de resistência varia em função da corrente, semelhante aos pára-raios utilizados na sub estações. Sendo a sua parametrização baseia-se nos dados fornecidos pelo fabricante valores nominais e os ensaio de tensões residuais

5.5 Descarga Atmosférica

A adoção dos padrões das descargas atmosféricas baseia-se na estatística da descargas atmosférica medidas em São Paulo no ano de 2004, que indicam 85 (%) das descargas são inferiores a 30 (kA) (valores que serão adotados nas simulações) e menos de 1 (%) estão acima de 70 (kA), porém o tempo envolvido no fenômeno é desconhecida, portanto serão utilizados nas simulações valores padronizados para descarga atmosférica o tempo de subida é de 1,2 (μs) e de cauda 50 (μs).

6 SIMULAÇÕES

As simulações terão como foco a linha que interliga a SE Bandeirantes a ETD's Granja Julieta como já descrito anteriormente, para simulações de descargas atmosféricas diretas, será adotada uma distância de 100 m da conexão entre a linha aérea e a subterrânea (Ilustração 06), pois probabilisticamente é impossível a descarga atinja a fase no ponto de conexão em virtude da blindagem da estação, também será adotada a fase "A" pois se trata do cabo mais alto da torre de transmissão e as descargas incidirão nas barras # 01 e # 04, ou seja, nos dois lados das conexões.

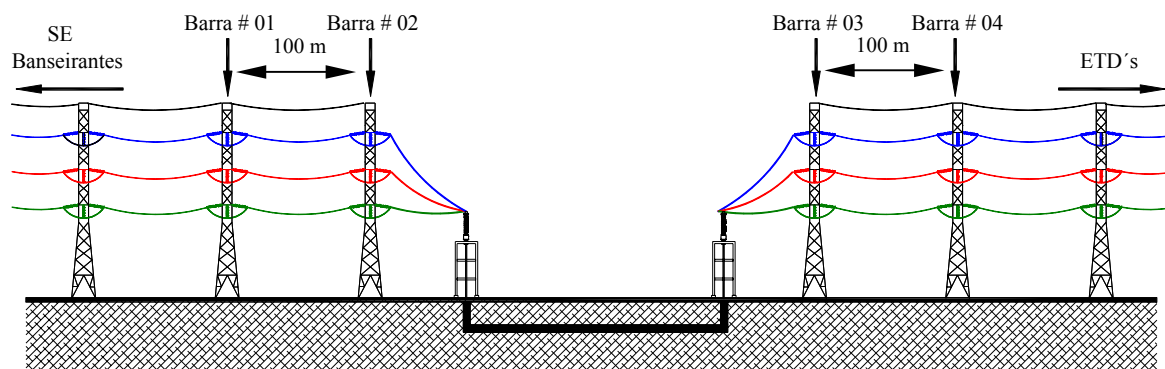


Ilustração 06 – Diagrama de Simulação

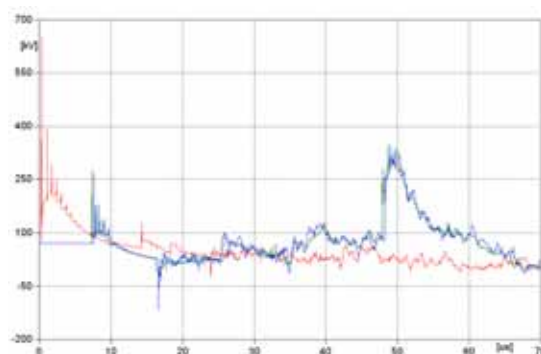
Como se trata de um estudo comparativo, serão utilizadas diversas combinações para que se simular diferentes configurações típicas das instalações, alterando o tipo de cabos, posicionamento e da utilização ou não de pára-raios nas barras junta as conexões, mantendo o restante do circuito inalterado. Possibilitando assim a análise real do comportamento das tensões em função destas alterações.

Será utilizado também um circuito para simular o flashover no isolador do cabo que receberá a descarga atmosférica direta ou indiretamente, interligando o condutor a malha de aterramento equivalente de forma temporária, sendo este, ajustado para operar em tensões acima de 650 kV, que se trata do NIB (Nível Básico de Isolamento) típico do isolador.

7 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Com a finalidade de análise o limite de tensão adotado, será embasado na NBR 6939-2000. Os equipamentos aqui em questão têm tensão nominal de 145 kV será adotado um valor de 650 kV do NBI que também foi o valor encontrado na maioria dos equipamentos analisados. A simulação terá um intervalo de tempo de 70 μ s (Ilustração 07), será utilizado um tempo de integração de 20 ns.

Ilustração 07 – Resultado de Simulação



7.1 Análise coordenação de Isolamento

Nas descargas diretas foram levantadas as tensões na fase “A” em relação a terra, em diversas configurações descritas na tabelas 03, 04, 05 e 06. Na primeira coluna refere-se ao tipo de cabo, na segunda a configuração da instalação do cabo (Ilustração 03), terceira o local onde incide a descarga e as colunas restantes refere às tensões nas barras.

Tabela 03 – Resultados das Medições nas Barras – Cabo Tipo a óleo – Com Pára-raios

			Barra # 01	Barra # 02	Barra # 03	Barra # 04
Cabo	Configuração	Descarga	Volts	Volts	Volts	Volts
Óleo 01	Trifólio / junto	Barra # 01	2,65E+06	2,61E+05	8,17E+04	1,21E+05
Óleo 02	Paralelo / vertical	Barra # 01	2,65E+06	2,76E+05	1,23E+05	1,55E+05
Óleo 03	Paralelo / horizontal	Barra # 01	2,65E+06	2,78E+05	1,95E+05	2,29E+05

Óleo 04	Trifólio / distanciado	Barra # 01	2,65E+06	2,77E+05	1,65E+05	1,75E+05
Óleo 01	Trifólio / junto	Barra # 04	1,21E+05	1,20E+05	2,05E+05	2,76E+06
Óleo 02	Paralelo / vertical	Barra # 04	1,76E+05	1,70E+05	2,24E+05	2,76E+06
Óleo 03	Paralelo / horizontal	Barra # 04	2,33E+05	1,91E+05	2,26E+05	2,76E+06
Óleo 04	Trifólio / distanciado	Barra # 04	1,87E+05	1,87E+05	2,25E+05	2,76E+06

Tabela 04 – Resultados das Medições nas Barras – Cabo Tipo a óleo – Sem Pára-raios

			Barra # 01	Barra # 02	Barra # 03	Barra # 04
Cabo	Configuração	Descarga	Volts	Volts	Volts	Volts
Óleo 01	Trifólio / junto	Barra # 01	1,90E+06	6,11E+05	3,51E+05	3,17E+05
Óleo 02	Paralelo / vertical	Barra # 01	1,90E+06	6,00E+05	3,66E+05	3,89E+05
Óleo 03	Paralelo / horizontal	Barra # 01	1,90E+06	6,82E+05	3,37E+05	3,60E+05
Óleo 04	Trifólio / distanciado	Barra # 01	1,90E+06	6,71E+05	2,53E+05	2,80E+05
Óleo 01	Trifólio / junto	Barra # 04	3,11E+05	3,10E+05	6,11E+05	1,90E+06
Óleo 02	Paralelo / vertical	Barra # 04	3,28E+05	3,42E+05	6,00E+05	1,90E+06
Óleo 03	Paralelo / horizontal	Barra # 04	4,03E+05	3,88E+05	6,81E+05	1,90E+06
Óleo 04	Trifólio / distanciado	Barra # 04	2,85E+05	3,25E+05	6,71E+05	1,90E+06

Tabela 05 – Resultados das Medições nas Barras – Cabo Tipo à Seco – Com Pára-raios

			Barra # 01	Barra # 02	Barra # 03	Barra # 04
Cabo	Configuração	Descarga	Volts	Volts	Volts	Volts
Seco 01	Trifólio / junto	Barra # 01	2,85E+06	2,79E+05	3,08E+04	2,84E+04
Seco 02	Paralelo / vertical	Barra # 01	2,85E+06	2,79E+05	3,30E+04	2,97E+04
Seco 03	Paralelo / horizontal	Barra # 01	2,85E+06	2,80E+05	7,48E+04	6,71E+04
Seco 04	Trifólio / distanciado	Barra # 01	2,85E+06	2,79E+05	4,68E+04	5,84E+04
Seco 01	Trifólio / junto	Barra # 04	9,52E+04	9,61E+04	2,26E+05	2,74E+06
Seco 02	Paralelo / vertical	Barra # 04	8,74E+04	8,62E+04	2,25E+05	2,74E+06
Seco 03	Paralelo / horizontal	Barra # 04	1,27E+05	1,32E+05	2,27E+05	2,74E+06
Seco 04	Trifólio / distanciado	Barra # 04	1,03E+05	1,03E+05	2,26E+05	2,74E+06

Tabela 06 – Resultados das Medições nas Barras – Cabo Tipo à Seco – Sem Pára-raios

			Barra # 01	Barra # 02	Barra # 03	Barra # 04
Cabo	Configuração	Descarga	Volts	Volts	Volts	Volts
Seco 01	Trifólio / junto	Barra # 01	1,90E+06	6,48E+05	3,41E+05	3,51E+05
Seco 02	Paralelo / vertical	Barra # 01	1,90E+06	6,23E+05	3,07E+05	3,07E+05
Seco 01	Paralelo / horizontal	Barra # 01	1,90E+06	7,16E+05	4,41E+05	3,71E+05
Seco 02	Trifólio / distanciado	Barra # 01	1,90E+06	7,07E+05	2,13E+05	2,98E+05
Seco 01	Trifólio / junto	Barra # 04	3,22E+05	3,25E+05	6,48E+05	1,90E+06
Seco 02	Paralelo / vertical	Barra # 04	3,49E+05	3,29E+05	6,23E+05	1,90E+06
Seco 01	Paralelo / horizontal	Barra # 04	4,15E+05	4,76E+05	7,16E+05	1,90E+06
Seco 02	Trifólio / distanciado	Barra # 04	2,95E+05	3,16E+05	7,07E+05	1,90E+06

Análise:

Analisando a tensão na barra mais próxima da descarga em todas as simulações, nota-se que todos os modelos com os pára-raios tiveram resultados satisfatórios, porém nas simulações sem a sua utilização metade dos casos não teve resultado satisfatório (Tabelas 4 e 6 – Em vermelho). Os resultados dos modelos com pára-raios tiveram resultados muito próximos, indiferentes à configuração do sistema. Porém os resultados obtidos sem a atuação dos pára-raios, as tensões nos cabos secos são maiores em

comparação os de princípio a óleo. Em relação a disposição dos cabos não ocorreram variações substanciais nos resultados.

Conclusões preliminares:

A instalação de pára-raios na descidas dos cabos subterrâneos de cabos óleo ou a seco, garante a integridade dos equipamentos em qualquer circunstância.

Com a utilização dos pára-raios do cabo a seco ou a óleo, os níveis de tensão são praticamente semelhantes em situações de descargas.

7.2 Comparação entre Cabos

Nas tabelas 07, 08, 09 e 10 mostram os resultados e comparações quando da troca do cabo do tipo óleo pelo a seco com ou sem pára-raios, nas três fases e em todas as barras. Os cálculos foram realizados conforme equação a seguir:

$$\text{Barra (\%)} = \frac{\text{Tensão Cabo (seco)} - \text{Tensão Cabo (óleo)}}{\text{Tensão Cabo (seco)}} \times 100$$

Onde :

Tensão Cabo (seco) - Tensão Máxima Durante Transitório Sistema Utilizando Cabo (seco)

Tensão Cabo (óleo) - Tensão Máxima Durante Transitório Sistema Utilizando Cabo (óleo)

Tabela 07 – Barras # 01 e # 02 – Com pára-raios

Configuração	Descarga	Barra # 01 – (%)			Barra # 02 – (%)		
		A	B	C	A	B	C
Trifólio / junto	Barra # 01	0,00	-0,08	-0,09	0,21	0,41	2,40
Paralelo / vertical	Barra # 01	0,00	-0,08	-0,01	0,11	0,28	-12,41
Paralelo / horizontal	Barra # 01	0,00	-0,08	0,02	0,19	1,01	4,20
Trifólio / distanciado	Barra # 01	0,00	-0,08	0,01	0,18	0,42	-4,46
Trifólio / junto	Barra # 04	1,11	1,98	2,68	-0,26	7,87	-1,74
Paralelo / vertical	Barra # 04	8,65	13,08	2,88	-0,27	4,07	2,63
Paralelo / horizontal	Barra # 04	-3,80	0,88	2,05	-0,91	0,22	-3,20
Trifólio / distanciado	Barra # 04	-2,35	7,78	0,66	-0,41	4,94	0,01

Tabela 08 – Barras # 03 e # 04 – Com pára-raios

Configuração	Descarga	Barra # 03 – (%)			Barra # 04 – (%)		
		A	B	C	A	B	C
Trifólio / junto	Barra # 01	1,93	-13,03	0,62	0,54	-8,40	-1,97
Paralelo / vertical	Barra # 01	-4,61	32,81	-4,61	-4,35	29,70	-15,65
Paralelo / horizontal	Barra # 01	1,77	-5,12	17,25	1,67	8,11	14,89
Trifólio / distanciado	Barra # 01	-1,03	-1,48	-1,11	-7,51	3,68	11,95
Trifólio / junto	Barra # 04	0,21	1,80	-5,48	0,00	0,04	-0,09
Paralelo / vertical	Barra # 04	0,11	-12,54	-1,18	0,00	0,04	-0,04
Paralelo / horizontal	Barra # 04	0,19	0,99	0,01	0,00	0,04	-0,04
Trifólio / distanciado	Barra # 04	0,18	1,24	-0,73	0,00	0,04	-0,05

Tabela 09 – Barras # 01 e # 02 – Sem pára-raios

Configuração	Descarga	Barra # 01 – (%)			Barra # 02 – (%)		
		A	B	C	A	B	C
Trifólio / junto	Barra # 01	0,00	-0,08	-1,76	5,60	3,61	12,38
Paralelo / vertical	Barra # 01	0,00	-0,08	-0,79	3,75	2,63	-9,63
Paralelo / horizontal	Barra # 01	0,00	-0,08	-1,42	4,78	3,25	-20,23
Trifólio / distanciado	Barra # 01	0,00	-0,08	-1,98	5,04	2,85	-1,13

Trifólio / junto	Barra # 04	3,49	1,77	-5,57	4,51	15,79	-8,85
Paralelo / vertical	Barra # 04	6,12	8,89	3,03	-3,97	-1,71	1,89
Paralelo / horizontal	Barra # 04	2,92	17,29	25,99	18,46	29,02	43,38
Trifólio / distanciado	Barra # 04	3,26	-17,97	2,45	-3,14	-8,35	-0,26

Tabela 10 – Barras # 03 e # 04 – Sem pára-raios

Configuração	Descarga	Barra # 03 – (%)			Barra # 04 – (%)		
		A	B	C	A	B	C
Trifólio / junto	Barra # 01	-3,10	0,10	-3,01	9,62	-10,79	-0,81
Paralelo / vertical	Barra # 01	-19,44	24,44	-17,63	-26,52	26,26	-7,74
Paralelo / horizontal	Barra # 01	23,56	25,05	44,73	3,06	18,07	17,88
Trifólio / distanciado	Barra # 01	-18,99	2,78	-6,85	6,12	-2,09	-4,05
Trifólio / junto	Barra # 04	5,60	3,61	-6,46	0,00	0,00	-1,76
Paralelo / vertical	Barra # 04	3,75	2,64	-5,07	0,00	0,00	-0,78
Paralelo / horizontal	Barra # 04	4,78	3,25	4,06	0,00	0,00	-1,42
Trifólio / distanciado	Barra # 04	5,04	2,85	0,82	0,00	0,00	-1,98

Análise:

Dentre todos resultados, os de maior relevância para o estudo são as tensões da barra 02 – fase “A” quando descarga na Barra # 01 e da barra 03 – fase “A” quando descarga na Barra # 04, estarem mais próximas a estação.

Em análise aos resultados de maior relevância, pode-se afirmar que a diferença entre o comportamento entre cabos com a utilização de pára-raios é quase nula, em contrapartida quando da não utilização ocorre um aumento de tensão entre 3,75 a 5,6 (%).

Conclusão Preliminar

Com a mudança dos cabos óleo para o seco existirá um pequeno aumento percentual, que a princípio não terá grande relevância, porém analisando as simulações realizadas anteriormente os resultados mostram sobre tensões estão muito próximas ao limite do NBI dos equipamentos, portanto é possível que a mudança possa comprometer a coordenação de isolamento, sendo assim é aconselhável uma prévia análise e na sua ausência a instalação é obrigatória.

8. CONCLUSÕES FINAIS

Em instalações novas que possuam equipamentos com NBI inferior a 600 kV é imprescindível a instalação de pára-raios nas descidas dos cabos. Para instalações de com NBI de 650 kV é necessário uma análise criteriosa.

Em trocas de cabos a óleo para seco em sistemas já existentes é necessária uma prévia análise e em falta deste estudo é aconselhável a instalação dos pára-raios.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Xemard, EDF R&D, E. Dorison, EDF R&D “Study of the protection of screen interruption joints against fast-front over-voltages”. Presented at the International Conference on Power Systems Transients (IPST’05) in Montreal, Canada on June 19-23, 2005 Paper No. IPST05 - 065
- [2] Ting-Chung Yu and José R. Martí “A robust Phase Coordinates Frequency Dependent Underground Cable Model (zCable) for the EMTP - Presented at the International Conference on Power Systems Transients (IPST’05) in Montreal, Canada on June 19-23, 2005 Paper No. IPST05 – 065
- [3] S.A. Probert, Y.H. Song, P. K. Basak, C. P. Ferguson “Re-appraisal of the Basic Impulse Level (BIL) for 400 kV Underground Cables Using EMTP/ATP”
- [4] Nogueira, Roberto Luís Santos “Análise de Sistemas de Aterramento sob Solicitações Impulsivas: Otimização e Critérios de Segurança em Aterramentos de Estruturas de Linhas de Transmissão” Dissertação defendida em Março de 2006, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- [5] Gertrudes, João Bosco “Comportamento Eletromagnético do Solo no Domínio da Frequência: Tratamento de Dados de Campo e Influência no Desempenho de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica” Dissertação defendida em Agosto de 2005, Universidade Estadual de Campinas.
- [6] Zanetta Jr. Luiz Cera “Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência”, editora da Universidade de São Paulo; Edição 2003.
- [7] Hermann Dommel, “EMTP Theory Book”, Vancouver:Microtran, 1992.