



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

GLT 03
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO – GLT

LINHAS DE TRANSMISSÃO DE CORRENTE CONTÍNUA – AVALIAÇÃO DE CAMPOS INTERFERENTES

Fernando Chaves Dart(*) João Ignácio da Silva Filho

Victor Hugo Gomes de Andrade Luís Adriano de Melo Cabral Domingues

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA

RESUMO

O CEPEL através de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, patrocinado pela ELETROBRÁS e com apoio de FURNAS, efetuou ao longo de um ciclo climático anual quatro campanhas de medições de várias grandezas elétricas e do meio ambiente (interferências e clima) em um vão da linha de transmissão de ± 600 kV em corrente contínua Foz do Iguaçu – Ibiuna. Cada campanha teve a duração aproximada de 30 dias e as medições foram feitas através do Laboratório Móvel de Medições do CEPEL, quando foram medidos, além das variáveis climáticas, dados referentes ao ozônio, radiointerferência, ruído audível, corrente iônica, campo elétrico, cargas espaciais e TV interferência.

Com o banco de dados resultante dessas campanhas, podem-se comparar os resultados de estudos e projetos calcados nos modelos de cálculos usuais, bem como sugerir caminhos para o aprimoramento dos modelos teóricos que se afastam dos valores medidos no campo.

O Informe Técnico apresenta uma análise estatística das grandezas medidas, compara os valores obtidos por modelos e pelas medições e propõe alternativas de modelagem dos fenômenos gerados pela linha de transmissão, principalmente àqueles que são mais afetados pela velocidade e direção do vento. A divulgação desses resultados, neste momento, é muito importante pois poderão ser utilizados nos novos empreendimentos de transmissão em longa distância ora em estudo no país.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de transmissão, corrente contínua, campo elétrico, carga espacial, corrente iônica, radiointerferência, tv interferência, ruído audível, ozônio, parâmetros meteorológicos

1.0 - INTRODUÇÃO

Nos estudos de viabilidade técnica de sistemas de transmissão de grandes blocos de energia elétrica a longas distâncias, o uso da transmissão em corrente contínua é uma alternativa atraente, pois melhora tanto o controle como a estabilidade do sistema elétrico.

Atualmente, o setor elétrico brasileiro vive este cenário em função da possível implantação, na região amazônica, de usinas hidrelétricas com grande capacidade de geração que produzirão energia elétrica para abastecer grandes centros consumidores, localizados nas Regiões Sudeste e Nordeste, distantes a mais de 2000 km dos centros geradores. Se a alternativa em corrente contínua for a selecionada para esta transmissão, o Brasil será um dos maiores usuários desta tecnologia.

Dado o pequeno número de linhas de transmissão em corrente contínua em operação no mundo, principalmente com longas distâncias, não se dispõe de uma razoável massa de dados medidos em linhas reais onde se possa verificar ou validar os modelos de cálculos usados no dimensionamento das linhas de transmissão de corrente contínua. Por exemplo, no caso dos campos interferentes gerados por linhas de corrente contínua, não há ainda o

completo domínio da influência das variáveis meteorológicas na geração de cargas espaciais pelos pólos da linha, e na forma como os íons se deslocam ou migram na área situada no entorno dos cabos condutores.

Outro assunto que vem despertando cada vez mais interesse de ser investigado é o eventual efeito em seres vivos dos campos interferentes gerados pela linha de transmissão, dada a crescente solicitação da sociedade em se proteger de agressões do ambiente em que vive. Hoje, apesar da grande quantidade de pesquisas realizadas sobre os efeitos de campos estáticos, em especial as realizadas pela Organização Mundial de Saúde, ainda não estão ainda definidos os valores limites para o campo elétrico na vizinhança das linhas de transmissão em corrente contínua, o que já ocorre para a tecnologia de corrente alternada.

O Brasil possui em operação um sistema de transmissão em corrente contínua que pode servir de “laboratório” para o estudo da interação do ambiente com a transmissão em ultra-alta tensão em corrente contínua. Isto foi feito através das medições de corona, campos e íons que foram realizadas na linha de corrente contínua de Itaipu de ± 600 kV.

O local escolhido foi nas vizinhanças da cidade de Itararé, São Paulo, no vão entre as torres T1201 e T1202, onde a linha Foz do Iguaçu - Ibiúna passa por um local adequado às medições, a saber: local plano, livre de interferências, fácil acesso etc.

Foram realizadas quatro campanhas de medição, cada uma com duração de um mês, espaçadas ao longo de aproximadamente um ano. As medições em estações do ano distintas, objetivaram caracterizar as várias condições climáticas passíveis de ocorrer na região. A Tabela 1 apresenta os períodos das campanhas de medição.

TABELA 1 – Períodos das campanhas de medição

1ª Campanha: 07/08/96 a 11/09/96	3ª Campanha: 27/02/97 a 26/03/97
2ª Campanha: 08/11/96 a 10/12/96	4ª Campanha: 19/05/97 a 20/06/97

2.0 - PARÂMETROS ENVOLVIDOS NA MEDIÇÃO EM CC

2.1 Considerações sobre corona

A ocorrência de descargas corona nas proximidades dos condutores de uma linha de transmissão em corrente contínua resulta na ocorrência de cargas espaciais entre os pólos e entre os pólos e o plano terra e afetam o processo físico que governa as perdas corona e conseqüentemente o desempenho da linha.

Em função de possíveis impactos no meio ambiente, as correntes e os campos elétricos produzidos pelo deslocamento das cargas espaciais passam a ter grande importância nos projetos de linhas de transmissão em corrente contínua, bem como os métodos para análise e cálculo da geração das cargas espaciais e perdas corona.

O desempenho corona de uma linha de transmissão é definido por perdas corona, radiointerferência e ruído audível tanto para corrente alternada quanto para corrente contínua e também por cargas espaciais e corrente iônica para linhas de corrente contínua e é fortemente influenciado pelas condições climáticas. Como regra geral, a ocorrência de chuva aumenta a atividade corona nos condutores em uma ou duas ordens de grandeza e conseqüentemente influencia os efeitos devido ao corona.

Num bipólo de corrente contínua o corona está presente simultaneamente nos pólos de polaridade positiva e negativa, gerando íons positivos e negativos. Os íons gerados em cada pólo são atraídos para o pólo de polaridade inversa ou para o plano terra. Sendo assim três diferentes regiões de cargas espaciais podem ser identificados, a saber:

- região monopolar positiva – região entre o pólo positivo e o plano terra;
- região monopolar negativa – região entre o pólo negativo e o plano terra;
- região bipolar – região entre os dois pólos.

2.2 Ionização e campo elétrico

O comportamento do campo elétrico sob as linhas de transmissão em corrente contínua difere muito do existente nas linhas de corrente alternada.

Para tensões abaixo da tensão de início de corona nos condutores, ocorre sob a linha um campo eletrostático. Acima da tensão de início de corona, os condutores positivos e negativos da linha de transmissão geram íons com a mesma polaridade dos mesmos. Por isto, uma carga espacial de polaridade positiva ocorre sob o condutor positivo e uma carga espacial negativa sob o condutor negativo. Entre os dois pólos da linha de transmissão, ocorre uma mistura de carga espacial positiva e negativa, proporcionando uma recombinação iônica.

A carga espacial produzida pelo corona em um condutor de uma linha de transmissão em corrente contínua tem o efeito de reduzir o campo elétrico na vizinhança da superfície do condutor e aumentar o nível de campo elétrico no solo. O campo elétrico resultante sob uma linha de corrente contínua com corona pode ser assumido como composto de dois componentes: um componente de “campo eletrostático”, produzido pela tensão aplicada à linha e pela geometria da mesma, e outro componente de “campo de cargas espaciais”, produzido pela carga espacial iônica na região entre os eletrodos.

A carga espacial gerada perto de cada condutor é conduzida pelo campo elétrico resultante tanto em direção ao solo, como em direção ao condutor de polaridade oposta, resultando em uma corrente de condução entre os pólos e para o solo.

O campo elétrico sob uma linha de transmissão em corrente contínua deve portanto ser caracterizado em termos de três parâmetros básicos:

- campo elétrico - E (kV/m);
- densidade de carga espacial - ρ (C/m³);
- densidade de corrente iônica - j (A/m²).

Estas grandezas se relacionam através da seguinte expressão:

$$j = k \cdot \rho \cdot E, \text{ onde } k \text{ é mobilidade iônica.}$$

O campo elétrico em uma linha de transmissão em corrente contínua é muito influenciado por condições ambientais, tais como: velocidade e direção do vento, umidade relativa, a presença e natureza dos aerossóis no ar etc.

Como as condições ambientais afetam grandemente a geração de corona em uma linha de transmissão em corrente contínua, e a variação da velocidade e direção do vento alteram em demasia a distribuição dos íons sob a mesma, as grandezas elétricas variam amplamente.

2.3 Radiointerferência

As linhas de transmissão são fontes de interferência na faixa de frequência de rádio. As fontes desta radiação eletromagnética de largo espectro são descargas que podem ocorrer nos condutores de linhas de transmissão.

Em condutores com polaridade negativa, as descargas corona ("trichel pulses") tendem a ser uniformemente distribuídas sobre a superfície do condutor, contribuindo menos para a radiointerferência da linha de transmissão.

No caso de descargas corona em condutores com polaridade positiva, as mesmas são de três tipos: "hermstain's glow", "plume" e "streamers". Estas duas últimas tendem a ser distribuídas aleatoriamente, sendo que as descargas mais persistentes são usualmente associadas à imperfeições na superfície do condutor. Elas são consideradas como sendo as fontes primárias de radiointerferência na linha de transmissão.

Também é fato conhecido, que os níveis de radiointerferência em tempo bom são superiores aos que ocorrem na condição sob chuva.

2.4 Ruído audível

As descargas corona, são aleatórias e de alta energia, que produzem ondas de pressão que se propagam no ar como energia acústica. A parte do espectro desta energia acústica situada dentro da faixa de som é denominada de ruído audível. O ruído audível é dominado pelo corona gerado pelos condutores de polaridade positiva e os níveis de ruído audível em tempo bom são superiores aos obtidos na condição sob chuva.

2.5 TV interferência

De forma análoga ao ruído audível, testes demonstram que o condutor de polaridade positiva é quem mais contribui para a TV interferência gerada por bipolos.

2.6 Ozônio

O ozônio é gerado pelo efeito corona em linhas de transmissão. Ele é um gás altamente tóxico e irritante, que causa inflamação e congestão do sistema respiratório e outros problemas adicionais.

Linhas de transmissão contribuem de forma insignificante na concentração de ozônio no ambiente, porém é importante confirmar este fato através de pesquisas.

3.0 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS MÓVEL - SADAM

O sistema de aquisição de dados foi montado em um caminhão com carroceria do tipo baú, apropriado para esta tarefa, apresentado Figura 1.

A unidade móvel dispõe ainda de um sistema automático de aquisição e tratamento de dados que agiliza e atribui maior consistência às medições efetuadas em campo.

4.0 - LOCAL DE MEDIÇÃO

A escolha do local de medição na linha de transmissão de corrente contínua obedeceu os seguintes requisitos:

- distante de ângulos fortes, transposições ou de cruzamentos com outras linhas;
- distante de linhas telefônicas, linhas subterrâneas, tubulações e cercas;
- plano, livre de árvores e com fácil acesso;
- distante pelo menos 10 km do extremo da linha de transmissão.

O local escolhido fica nas vizinhanças da cidade de Itararé, estado de São Paulo, no vão entre as torres T1201 e T1202 da linha de transmissão Foz do Iguaçu – Ibiúna, apresentado nas Figuras 1, 2 e 4.

Uma área de 28.000 m² foi alugada, tendo o preparo da área, sua delimitação e segurança ficado a cargo de FURNAS, as características do vão de medição estão apresentados na Tabela 2.



FIGURA 1 – Sistema de aquisição de dados móvel - SADAM



FIGURA 2 – Torre da LT de ± 600 kV

TABELA 2 - Características do vão escolhido

Tensão nominal	± 600 kV	Distância entre cabos pára-raios	13,4 m
Tipo de circuito	Horizontal	Altura média dos pólos positivo/negativo (meio do vão)	14,1/13,5 m
Número de condutores por pólo	4	Faixa de passagem	2 x 36 m
Subespaçamento condutores	45,7 cm	Cota do solo limite faixa lado positivo	1,50 m
Diâmetro do condutor	3,417 cm	Cota do solo limite faixa lado negativo	+1,49 m
Diâmetro do pára-raios	0,914 cm	Altitude do local	670 m
Distância entre pólos	16,6 m	Comprimento do vão	373 m

5.0 - MEDIÇÕES

Com o objetivo de aumentar a capacitação do CEPEL em medições em linhas de corrente contínua, foram mantidos contatos com vários especialistas da Bonneville Power Administration (BPA) e da Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), no sentido de definir procedimentos para instalação e operação da instrumentação.

Ao contrário de medições em linhas de corrente alternada, em corrente contínua, diversos fenômenos são afetados pela variação da velocidade e direção do vento. Assim, torna-se necessária a medição em um perfil transversal nos dois lados da linha.

O perfil transversal foi executado no meio do vão da LT, e as medições foram executadas nos seguintes pontos: entre os pólos, sob os pólos, a 15, 20 e 30 metros de cada pólo e nos limites da faixa de servidão.

5.1 Grandezas medidas

Antes do início de cada campanha de medição, foram adotados procedimentos rotineiros para assegurar a boa qualidade dos dados coletados, tais como:

- verificação das possíveis atenuações ou induções nos cabos de medição;
- verificação da ocorrência de microdescargas em cercas, antenas e em todos os locais onde a presença destas microdescargas possam influir nas medições;
- calibração definitiva de todo o sistema.

Durante a realização dos ensaios, algumas grandezas foram registradas pelo sistema automático de aquisição do laboratório móvel, tendo sido estabelecido como rotina a aquisição contínua, com amostragem a cada segundo, com ciclos de registro a cada minuto. Alguns poucos ensaios foram realizados com outras taxas de amostragem para estudos específicos. Outras grandezas foram medidas através de instrumentos de leitura direta, com a anotação em formulários específicos.

Como as medições ocorreram em 4 campanhas, os sensores foram posicionados e identificados para garantir a mesma localização em todas as campanhas. A distribuição dos sensores no pátio de medição pode ser observada na Figura 3.

5.1.1 Grandezas registradas automaticamente:

Radiointerferência (RI), ruído audível (RA), tv interferência (TVI), densidade de carga espacial (C.Esp.), densidade de corrente iônica (C.Ion), campo elétrico (CE), ozônio e parâmetros meteorológicos (velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, temperatura do ar, radiação solar e precipitação pluviométrica).

5.1.2 Grandezas medidas manualmente:

Tensão, corrente e potência da linha de transmissão (dados medidos na subestação de Ibiúna).

Altura dos condutores dos pólos e resistência do solo foram medidos duas vezes por dia, pela manhã e a tarde.

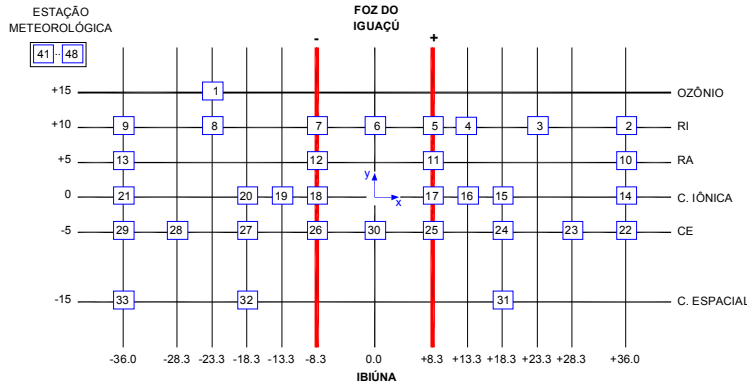


FIGURA 3 - Distribuição dos sensores no pátio de medição



FIGURA 4 - Vista do pátio de medições - RI e TVI ao fundo

6.0 - PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após a fase de crítica preliminar, feita no campo pelo próprio "software" de aquisição do laboratório móvel, os dados passam por outra análise, verificando-se agora o comportamento temporal das grandezas medidas, eliminando-se os dados não compatíveis com o fenômeno analisado. Após as críticas e correções, os dados coletados manual e automaticamente foram armazenados em um banco de dados. Em seguida, programas de análise estatística dos dados foram utilizados para obter informações sobre cada uma das campanhas realizadas.

Os dados do banco de dados foram classificados de acordo com as seguintes condições climáticas existente no momento do ensaio: tempo bom, tempo chuvoso e todo tempo. A condição meteorológica tempo bom é a que não tem ocorrência de chuva e a condição todo tempo inclui todos os ensaios realizados, independentes da condição climatológica.

Um resumo das estatísticas de valores das grandezas medidas para a condição meteorológica todo tempo, está apresentado nas Tabelas 3 a 5.

TABELA 3 – Variáveis meteorológicas

cn	Grandeza	Probabilidade acumulada					cn	Grandeza	Probabilidade acumulada				
		1%	5%	50%	95%	99%			1%	5%	50%	95%	99%
41	Velocidade do vento (m/s)	0,0	0,5	4,2	8,2	9,9	46	Precipitação (mm/h)	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
43	Temperatura do ar (°C)	8,7	13,7	22,8	28,4	30,0	47	Radiação solar (cal/cm²/min)	0,0	0,1	0,5	1,1	1,1
44	Umidade relativa (%)	34,3	41,2	59,8	92,4	96,2	48	Pressão atmosférica (mbar)	925,4	927,0	933,4	939,9	942,0

TABELA 4 – Grandezas medidas

cn	Grandeza	Probabilidade acumulada					cn	Grandeza	Probabilidade acumulada				
		1%	5%	50%	95%	99%			1%	5%	50%	95%	99%
1	Ozônio (ppb) [-23.3 m]	4,0	6,1	18,2	57,0	71,2	19	C lon. (nA/m²) [-13.3 m]	1,3	3,6	27,0	88,0	120,1
2	RI (dB/1µV/m) [+36.0 m]	37,5	38,6	42,3	45,4	46,4	20	C lon. (nA/m²) [-18.3 m]	0,6	0,9	19,5	111,4	175,3
3	RI (dB/1µV/m) [+23.3 m]	42,2	43,8	48,6	52,4	53,5	21	C lon. (nA/m²) [-36.0 m]	0,7	1,0	9,1	31,3	43,9
4	RI (dB/1µV/m) [+13.3m]	46,3	48,7	52,4	55,6	58,1	22	CE (kV/m) [+36.0 m]	0,4	0,7	4,5	13,5	16,9
5	RI (dB/1µV/m) [+8.30 m]	50,7	52,3	55,9	60,3	61,3	23	CE (kV/m) [+28.3 m]	2,0	3,9	11,3	23,1	29,3
6	RI (dB/1µV/m) [0.0 m]	41,7	42,4	48,0	51,5	53,1	24	CE (kV/m) [+18.3 m]	8,7	10,6	18,2	32,8	40,7
7	RI (dB/1µV/m) [-8.30 m]	50,0	51,1	53,7	57,6	59,0	25	CE (kV/m) [+8.3 m]	11,6	14,5	25,2	44,7	51,7
8	RI (dB/1µV/m) [-13.3m]	40,4	43,1	47,4	51,0	52,7	26	CE (kV/m) [-8.3 m]	-13,7	-17,3	34,5	-72,6	-83,8
9	RI (dB/1µV/m) [-36.0m]	36,6	38,3	41,1	45,4	47,0	27	CE (kV/m) [-18.3 m]	-8,2	-11,2	-27,6	-60,3	-72,7
10	RA (dBA) [+36.0 m]	35,3	36,3	38,8	41,5	42,5	28	CE (kV/m) [-28.3 m]	-3,3	-5,0	-18,4	-45,6	-55,0
11	RA (dBA) [+8.3 m]	39,8	41,2	44,1	46,9	47,5	29	CE (kV/m) [-36.0 m]	-1,3	-2,3	-10,2	-23,8	-31,8
12	RA (dBA) [-8.30 m]	36,8	39,1	42,3	44,5	45,3	30	CE (kV/m) [0.0 m]	-35,5	-22,0	2,0	24,0	30,0
13	RA (dBA) [-36.0 m]	34,1	35,1	37,7	40,1	41,4	31	CEsp (kions/cm²) [+18.3 m]	0,2	0,4	1,5	12,2	21,2
14	C lon. (nA/m²) [+36.0 m]	0,6	1,0	3,5	14,0	24,3	32	CEsp (kions/cm²) [-18.3 m]	0,3	0,6	7,8	29,5	54,7
15	C lon. (nA/m²) [+18.3 m]	1,7	2,6	26,5	68,6	94,3	33	CEsp (kions/cm²) [-36.0 m]	0,3	0,5	4,0	24,4	45,8
16	C lon. (nA/m²) [+13.3 m]	1,1	1,5	11,9	87,4	107,7	GPIB	TVI (dB/1µV/m) [+23.3m]	9,6	10,3	14,1	19,7	20,7
17	C lon. (nA/m²) [+8.3 m]	2,1	2,6	19,4	53,8	71,5	GPIB	TVI (dB/1µV/m) [-23.3m]	11,3	11,7	14,4	16,8	17,5
18	C lon. (nA/m²) [-8.3 m]	3,5	6,2	37,9	108,1	131,6							

TABELA 5 – Variáveis do sistema de transmissão

Grandeza	Probabilidade acumulada					Grandeza	Probabilidade acumulada				
	1%	5%	50%	95%	99%		1%	5%	50%	95%	99%
TENSÃO (kV)	600	600	600	600	600	CORRENTE Pólo Positivo (A)	1130	1740	2600	2850	2860
POTÊNCIA (MW)	1330	2055	3100	3380	3400	CORRENTE Pólo Negativo (A)	1130	1740	2610	2850	2860

A Figura 5 apresenta a direção do vento para a condição todo tempo e a Figura 6 apresenta a intensidade do vento para as condições de tempo bom, sob chuva e todo tempo para 50 % e 95 % de probabilidade acumulada.

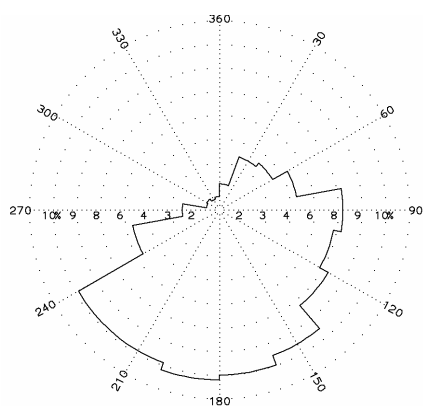


FIGURA 5 – Direção do vento – todo o tempo

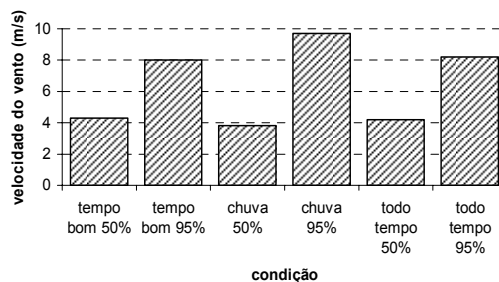


FIGURA 6 – Velocidade do vento

As Figuras 7 e 8 apresentam o resultado das medições de radiointerferência, para as condições de tempo bom, chuva e todo tempo versus probabilidade acumulada de 50 % e 95 %, e pode ser constatada a afirmação citada no item 2.3.

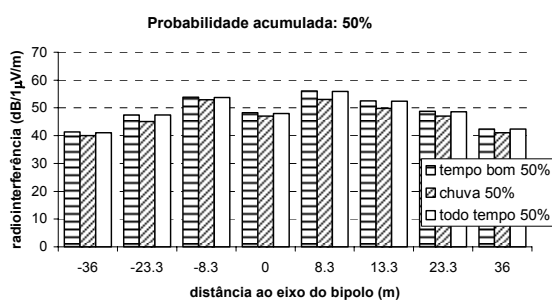


FIGURA 7 – Intensidade de radiointerferência – p.acum: 50%

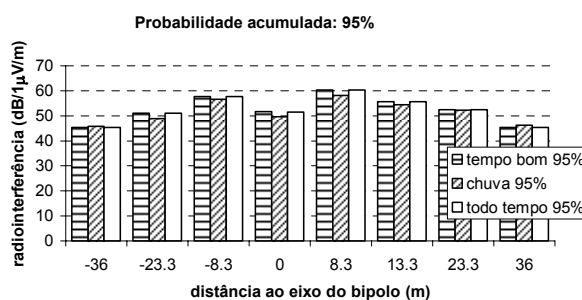


FIGURA 8 – Intensidade de radiointerferência – p.acum: 95%

A Figura 9 apresenta o valor do campo elétrico no solo para o bipolo em ± 600 kV em corrente contínua de Itaipu para as seguintes condições:

- modelo eletrostático – modelo que não considera a influência do efeito corona;
- modelo com cargas espaciais e sem vento – modelo que considera a mobilidade iônica constante, independente da intensidade de campo elétrico e não considera a difusão dos íons, vento, umidade e aerossóis;
- medições de campo elétrico considerando a condição de tempo todo com 50 % de probabilidade acumulada;
- medições de campo elétrico considerando a condição de tempo todo com 95 % de probabilidade acumulada.

A influência da velocidade e direção do vento no comportamento do campo elétrico nos limites da faixa da linha de transmissão em corrente contínua pode ser observada nas Figuras 10, 11 e 12. Foram traçadas as curvas de probabilidades acumuladas apresentadas, considerando as seguintes condições de vento:

Figura 10 – vento calmo, aqui considerado como sendo o vento com velocidade menor que 0,5 m/s;

Figura 11 – vento com velocidade acima de 1,0 m/s e direção no sentido do pólo positivo para o negativo, sendo considerado os ventos com direção perpendicular à LT com variações de até 15 graus, resultando em uma velocidade média de 4,6 m/s;

Figura 12 – vento com velocidade acima de 1,0 m/s e direção no sentido do pólo negativo para o positivo, com os mesmos critérios da Figura 11, com uma velocidade média de 4,8 m/s.

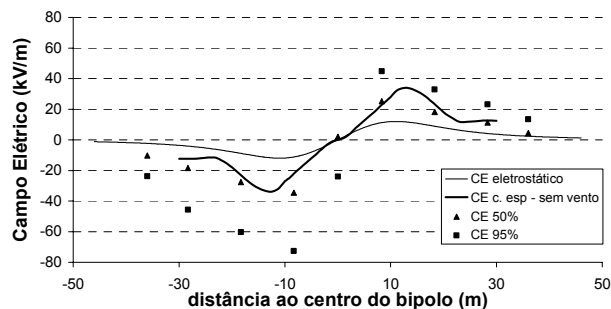


FIGURA 9 – Campo elétrico – simulações e medições todo tempo

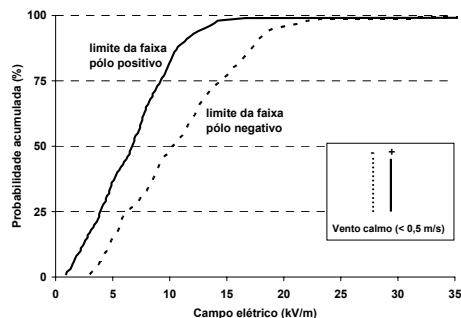


FIGURA 10 – Probabilidade acumulada x campo elétrico – vento calmo

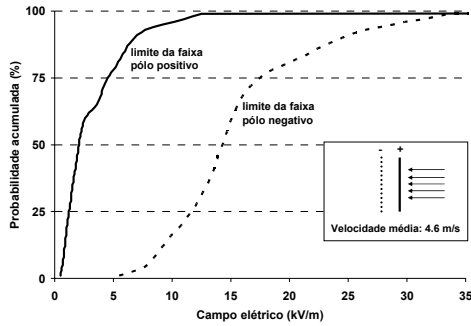


FIGURA 11 – Probabilidade acumulada x campo elétrico – vento: pólo positivo para pólo negativo

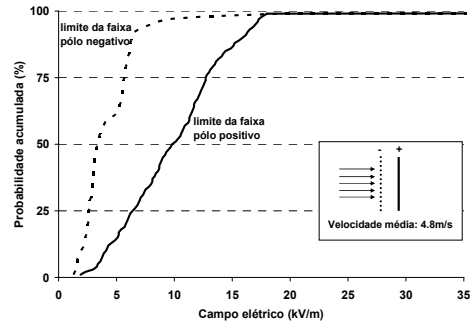
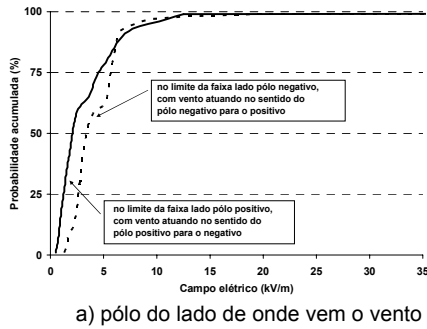
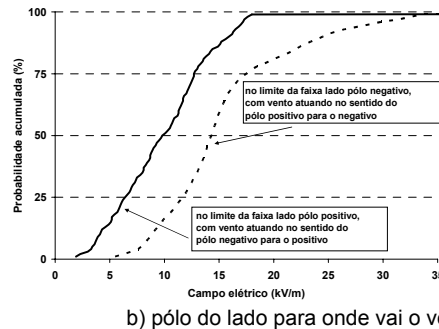


FIGURA 12 – Probabilidade acumulada x campo elétrico – vento: pólo negativo para pólo positivo



a) pólo do lado de onde vem o vento



b) pólo do lado para onde vai o vento

FIGURA 13 – Curva de probabilidade acumulada do campo elétrico nos limites da faixa, em função da direção e velocidade do vento

A Figura 13 apresenta as curvas de probabilidades do campo elétrico nos limites da faixa, considerando a condição com vento e:

- o pólo localizado do lado de onde o vento vem, e
- o pólo do lado para onde o vento vai.

Por si só as curvas das Figuras 10 a 13 mostram a influência do vento, mas cabe aqui os seguintes comentários:

- Mesmo com a ausência de vento, o campo elétrico não mantém simetria em relação aos pólos sendo o lado do pólo negativo maior que o pólo positivo (Figura 10);
- Na presença de vento, o campo elétrico no pólo oposto ao ataque do vento é bastante superior daquele que recebe o vento, o que indica como os íons são carregados pelo vento. As Figuras 11 e 12 mostram a inversão da posição relativa das curvas de probabilidades nos limites da faixa com a mudança da direção do vento, ou seja, o lado oposto ao ataque do vento sempre tem os maiores valores independentemente da polaridade do condutor;
- A Figura 13 a mostra que o lado sob o ataque do vento mantém, praticamente, o mesmo valor de campo, o que permite especular a possibilidade de um mesmo modelo de cálculo para os dois pólos nessa situação. A pequena diferença entre as curvas de probabilidades pode ser atribuída pelo fato do pólo negativo gerar campos elétricos maiores que o positivo.

7.0 - CONCLUSÕES

- O IT apresenta um resumo das medições efetuadas no sistema de ± 600 kV de Itaipu para a condição de todo tempo.
- A modelagem dos fenômenos correlacionados com a ocorrência de corona tais como, perdas corona, radiointerferência e ruído audível, deve levar em conta a forte influência das condições climáticas.
- A modelagem de campo elétrico no solo deve levar em consideração, além da representação da mobilidade iônica e demais cargas espaciais, a velocidade e direção do vento, visando resultados de cálculos mais precisos. Sendo assim o conhecimento acurado das condições climáticas das regiões que a linha de transmissão atravessa se reveste de grande importância.
- Ainda em relação aos níveis de campo elétrico medidos durante a campanha, valores mais elevados foram obtidos do lado do pólo negativo, na condição tempo bom. A menor distância condutor-solo existente neste ponto de medição não justifica a existência de maiores níveis do lado do pólo negativo.

Esta constatação contraria os resultados obtidos com modelos teóricos e em linhas experimentais, confirmando porém resultados de medições em linhas de transmissão em operação. Este fato tem motivado o desenvolvimento de pesquisas a nível mundial.

- Em relação aos níveis de radiointerferência de uma linha de transmissão em corrente contínua pode-se observar que os níveis obtidos nas condições de tempo bom e sob chuva são da mesma ordem de grandeza, ao contrário do que ocorre nas linhas de corrente alternada, que sob chuva, os níveis de RI são superiores aos encontrados sob tempo bom. Essa constatação tem impacto relevante no projeto em linhas de corrente contínua.
- Ressalta-se ainda a importância da realização de campanhas de medição que permitam conhecer o real desempenho das linhas de transmissão, em particular das linhas de corrente contínua, devido as suas características intrínsecas, e a necessidade de aprimoramento dos modelos de cálculo dos fenômenos relacionados a ocorrência de corona.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ELETROBRÁS e à FURNAS, Rio de Janeiro e Itaberá, pelo apoio dado nas medições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Andrade, V.H.G.; Silva Filho, J.I.; Oliveira, P.R.G.; Menezes, R.C.; Lopes Jr, S. e Santos, V.R. - Medições de corona, campos e íons na linha de ± 600 kV de Itaipu – Relatório Final - Relatório Técnico CEPEL DPP/TEQ - 44807/04.
- (2) França, A.M.; Silva Filho, J.I.; Oliveira, P.R.G.; Menezes, R.C.; Coutinho, C.E.O.; Nigri, A. e Gabaglia, C.P.R. - Análise e medição dos efeitos devido ao corona, aos campos e aos íons da linha de FURNAS em corrente contínua - XIV SNPTEE, Grupo XI, 1997.
- (3) EPRI - Transmission Line Reference Book HVDC to ± 600 kV.
- (4) Suzuki, T.; Sasano, T. and Sunaga Y. - Corona effects of HVDC lines - CRIEPI.
- (5) Ribeiro, G.F.; Lima, A.O.; Almeida, I.S.; Soares, E.R. e Andrade, V.H.G. - Projeto e implementação de protótipo de medidor de densidade de corrente iônica - Relatório Técnico CEPEL DPP/TEQ -1053/97.
- (6) Chartier, V.L.; Stearns, R.D. and Burns, A.L. – Electrical Environment of the Uprated Pacific NW/SW HVDV Intertie – IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989.
- (7) Chartier, V.L. and Stearns, R.D. - Examination of grizzly mountain data based determine effects of relative air density and conductor temperature of HVDC corona phenomena – IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 3, July 1990.
- (8) S., Maruvada P.; Janischewskyj, W. – Analysis of Corona Losses on DC Transmission Lines: I – Unipolar Lines – IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-88, no 5, May 1969, pp718-731
- (9) S., Maruvada P.; Janischewskyj, W. – Analysis of Corona Losses on DC Transmission Lines: II – Bipolar Lines – IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-88, no 10, October 1969, pp1476-1491
- (10) S., Maruvada P. – Corona Performance of High-Voltage Transmission Lines – Research Studies Press Ltd. – Baldock, Hertfordshire, England – 2000