



Seminário Nacional de Produção e
Transmissão de Energia Elétrica

RESULTADOS DE ESTUDOS TÉCNICOS PARA A INSERÇÃO DE UMA LINHA DE 1.000 kV NA REDE TRONCO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

GDS/ José A. Jardini



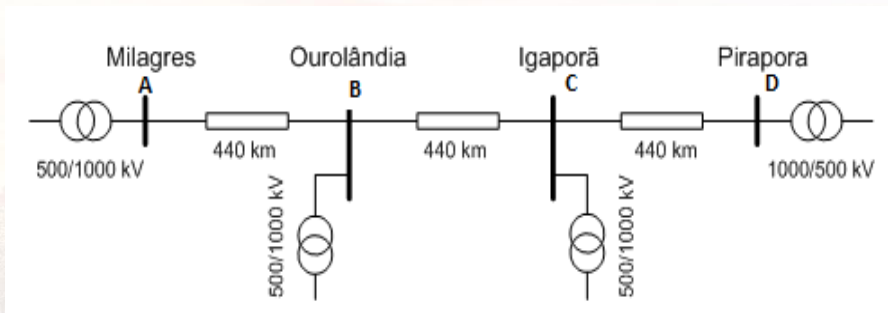
INTRODUÇÃO

- Grande potencial de geração eólica e fotovoltaica na região Nordeste (20 GW), acima da carga da região até 2025. Necessidade de transmissão de grandes blocos de energia.
- SIN tem como base malha de 500 kV, econômica para a transmissão de 1 a 1,5 GW. Para transmitir 10 GW seriam necessárias 7 linhas.
- Um sistema em 1.000 kV é mais econômico para transmitir de 4 a 6 GW, duas linhas seriam necessárias.

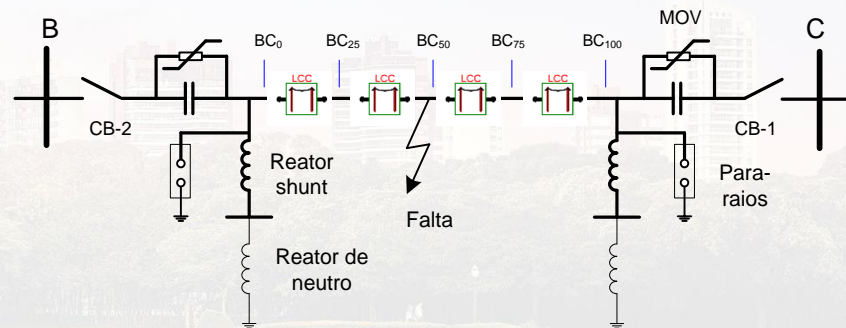
ANÁLISE DE SOBRETENSÕES

Sistema 1.000 kV estudado:

- 3 trechos de 440 km cada (com possibilidade de ampliação)
- 50% de compensação série
- reatores em paralelo de 85% nas linhas nos terminais das seções.



Linha de 1.000 kV



Detalhe do trecho B-C da linha

ANÁLISE DE SOBRETENSÕES

- Sobretensões à frequência industrial
- Sobretensões de Manobra:
 - ✓ Energização de linhas
 - ✓ Religamento de linhas
 - ✓ Ocorrência de curto
 - ✓ Rejeição de carga
 - ✓ Extinção de arco secundário
 - ✓ Energização de transformadores
 - ✓ TRV de disjuntores
- Descargas atmosféricas

ANÁLISE DE SOBRETENSÕES (À FREQUÊNCIA INDUSTRIAL)

Devido a:

- Abertura de um terminal de linha
- Energização
- Religamento de uma linha com um terminal aberto

Sistema pode ser considerado como aterrado, devido a presença de autotransformadores de três enrolamentos com conexão YYD.

Nos estudos das sobretensões sustentadas o maior valor encontrado foi de 1,12 pu (1 pu sendo 1.000 kV rms fase-fase).

ANÁLISE DE SOBRETENSÕES (SOBRETENSÕES DE MANOBRA)

Energização:

Disjuntor com resistor de pré-inserção de 400Ω inserido por 8 ms.

Maiores valores obtidos no trecho intermediário B-C energizado pelo lado B (Tabela).

Local da Sobretensão	Fase – Terra e Fase Fase	Sobretensão Média (pu)	Desvio Padrão (pu)	Máxima Sobretensão (pu)
Início da LT	Fase A	1,3786	0,0393	1,4533
	Fase B	1,2857	0,0489	1,4273
	Fase C	1,2805	0,0415	1,3957
	Fase A – Fase B	2,3240	0,0744	2,5750
	Fase B – Fase C	2,1741	0,0850	2,4195
	Fase A – Fase C	2,3064	0,0827	2,5339
25 % da LT	Fase A	1,5001	0,0596	1,6550
	Fase B	1,4197	0,0794	1,6351
	Fase C	1,3813	0,0419	1,5358
	Fase A – Fase B	2,5850	0,0932	2,8542
	Fase B – Fase C	2,3433	0,1175	2,7067
	Fase A – Fase C	2,4858	0,0810	2,6875
Meio da LT	Fase A	1,5920	0,0808	1,7551
	Fase B	1,4947	0,1105	1,7891
	Fase C	1,4531	0,0452	1,6064
	Fase A – Fase B	2,7522	0,1244	2,9948
	Fase B – Fase C	2,4539	0,1409	2,9151
	Fase A – Fase C	2,6057	0,0732	2,8700
75 % da LT	Fase A	1,6316	0,0970	1,8305
	Fase B	1,5167	0,1276	1,8416
	Fase C	1,4872	0,0555	1,7042
	Fase A – Fase B	2,8334	0,1526	3,1747
	Fase B – Fase C	2,4782	0,1581	3,0326
	Fase A – Fase C	2,6579	0,0817	2,9276
Fim da LT	Fase A	1,6231	0,1069	1,8456
	Fase B	1,5070	0,1421	1,8579
	Fase C	1,4759	0,0581	1,7100
	Fase A – Fase B	2,8260	0,1667	3,2780
	Fase B – Fase C	2,4634	0,1719	3,1131
	Fase A – Fase C	2,6435	0,0976	2,9956

ANÁLISE DE SOBRETENSÕES (SOBRETENSÕES DE MANOBRA)

Religamento: Sobretensões no religamento tripolar e monopolar considerando a carga residual na linha após a extinção do arco secundário e abertura da linha sem o curto.

- No religamento da linha os capacitores séries ficaram inseridos sendo, entretanto, representado seu MOV (resistor não linear de proteção).
- Os valores maiores obtidos foram (inferiores a energização):
 - ✓ Religamento monopolar após defeito fase-terra 1,85 pu.
 - ✓ Religamento tripolar (sem falta - maior carga residual) 1,81 pu fase-terra e 3,09 pu fase-fase.

ANÁLISE DE SOBRETENSÕES (SOBRETENSÕES DE MANOBRA)

Ocorrência de curto: Curto fase-terra ao longo de todo o circuito em diferentes instantes.

- ✓ 1,53 pu (maior valor) no ponto central de todo o circuito para curto na mesma região.
- ✓ Nas subestações os valores foram inferiores a 1,15 pu.

Eliminação de curtos: Abertura 3Ø de disjuntor nos dois extremos da linha após defeito fase-terra em vários pontos de linha.

- ✓ 1,96 pu (maior valor) no trecho CD, no terminal D.
- ✓ Abertura monopolar os valores foram menores (1,35 pu) que para a abertura tripolar.

ANÁLISE DE SOBRETENSÕES (SOBRETENSÕES DE MANOBRA)

Rejeição de carga:

- Abertura de um extremo da linha sendo verificadas possibilidades em todos os trechos.
 - ✓ Maior valor foi de 1,68 pu (presença do para-raios não altera).
- Abertura devido a curto antes ou depois da abertura do disjuntor.
 - ✓ Maior valor foi de 2,27 pu.
 - ✓ Para-raios conduz corrente sensível, mas a energia dissipada é baixa (120 kJ).

ANÁLISE DE SOBRETENSÕES (SOBRETENSÕES DE MANOBRA)

Extinção de Arco Secundário: Estudos de corrente de arco secundário (na falta) para abertura monopolar e tripolar da linha.

- Abertura monopolar
 - ✓ Reator de neutro de 250 Ω .
 - ✓ Corrente de arco de 70 A_{pico} ou 50 A (rms).
 - ✓ Tensão de restabelecimento de 34 kV_{pico} (após tempo maior que 0,5 s).
 - ✓ Tensão no neutro do reator de 135 kV (rms).
- Abertura tripolar
 - ✓ A corrente de arco é inferior a 22 A_{pico}, já a 0,29 s da abertura.

COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO

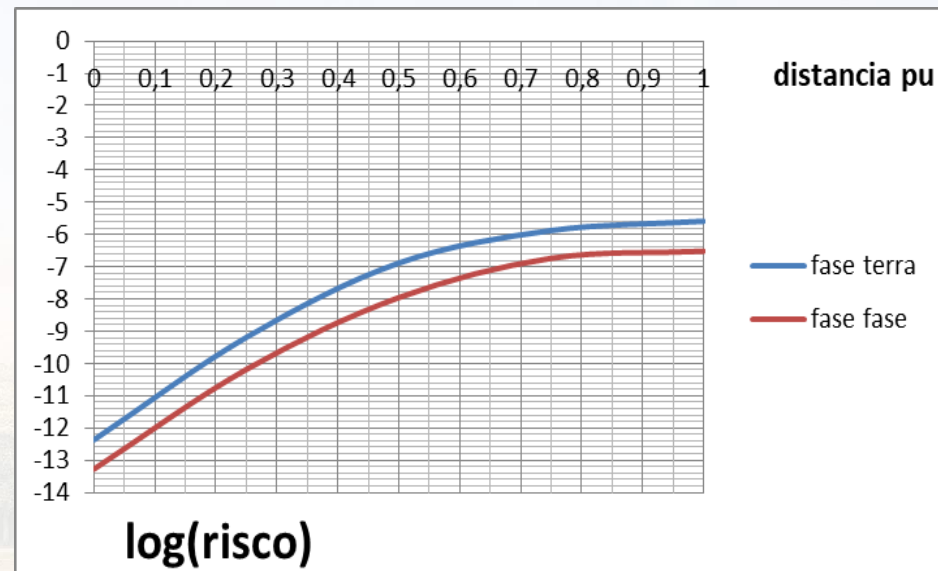
- Tensão operativa e sobretensão a frequência industrial considerada: 1.200 kV
 - ✓ creepage distance: $16\text{mm/kV} \times 1.200\text{ kV} = 19.200\text{ mm}$
 - ✓ 35 isoladores de vidro, 360x205 mm (de 400 kN cada) e cadeia com comprimento de 7,175 m.
 - ✓ Distância em ar preservada de 2,7 m, condição de um vento com período de retorno de 50 anos (valor de 26,6 m/s) e ângulo de balanço de 55° com o condutor estudado, ACSR 795 MCM Tern.
- Isolamento da linha, considerando sobretensão de manobra de energização
 - ✓ Suportabilidade média (50%) para isolação fase-terra e fase-fase, CFO=2.025 kV e 3575 kV.

COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO

Risco a energização para os pontos 75% e 100 %

Risco em cada ponto medido

		Sobretensão(kV)		(m-CFO)	Desvio equiv.	Risco
		Media (m)	Desvio (s)			
75 %	Fase A	1332,2	79,2	-692,8	145	8,90E-07
	Fase B	1238,4	104,2	-786,6	160,1	4,44E-07
	Fase C	1214,3	45,3	-810,7	129,7	2,03E-10
	Fase A – B	2313,5	124,6	-1261,5	248,1	1,83E-07
	Fase B – C	2023,4	129,1	-1551,6	250,3	2,87E-10
	Fase A – C	2170,2	66,7	-1404,8	224,6	2,00E-10
100 %	Fase A	1325,3	87,3	-699,7	149,6	1,45E-06
	Fase B	1230,5	116	-794,5	168	1,13E-06
	Fase C	1205,1	47,4	-819,9	130,4	1,63E-10
	Fase A – B	2307,4	136,1	-1267,6	254	3,02E-07
	Fase B – C	2011,4	140,4	-1563,6	256,3	5,31E-10
	Fase A – C	2158,4	79,7	-1416,6	228,8	2,99E-10



COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO

Risco total da linha

Número de torres	Distância (pu)	Risco por torre F-T	Log (risco)	Risco por torre F-F	Log (risco)
90	1	2,58E-06	-5,59	3,03E-07	-6,51
90	0,9	2,00E-06	-5,7	2,51E-07	-6,6
45	0,8	1,59E-06	-5,8	2,51E-07	-6,6
45	0,75	1,34E-06	-5,87	1,84E-07	6,73
90	0,7	1,00E-06	-6	1,26E-07	-6,9
90	0,6	3,98E-07	-6,4	3,98E-08	-7,4
90	0,5	1,31E-07	-6,88	1,11E-08	-7,95
90	0,4	2,00E-08	-7,7	2,00E-09	-8,7
45	0,3	2,00E-09	-8,7	2,00E-10	-9,7
45	0,25	6,49E-10	-8,7	6,58E-11	-10,18
90	0,2	2,51E-10	-9,6	1,59E-11	-10,8
90	0,1	6,31E-12	-11,2	1,00E-12	-12
0	0	4,29E-13	-12,36	5,32E-14	-13,27
Total 900	-	6,83E-04	-	8,56E-05	-

Distância em ar para surto de manobra (m)

CFO (kV)	2025 kV	3575 kV
Condutor janela	8,6	-
Condutor torre	6,4	-
Condutor estai	6	-
Condutor solo sob objeto	11,3	-
Entre condutores no vão	-	18

CONCLUSÃO

- Estudos de sobretensão demonstraram que a tecnologia e hipóteses adotadas para o projeto de linhas até 750 kV são adequados para linha de 1.000 kV.
- O uso de resistor de pré-inserção de 400Ω por 8ms nos disjuntores levam a sobretensões de energização e religamento inferior a 2 pu.
- É necessário reator de neutro de $250\ \Omega$ nos reatores de linha para obter extinção do arco secundário (defeito fase-terra).
- A quantidade e tipo de isolador, e as distâncias em ar para linhas podem ser determinadas pela metodologia convencional.
- O isolamento dos equipamentos de subestação resultou em valores dentro das normas IEC, utilizando para-raios de valor nominal 828 kV.

Agradecimentos: À ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), Eletrobras-Eletronorte e SGBH (State Grid Brazilian Holding).

José A. Jardini

 (11) 2528-3662

 (11) 98117-9750

 jose.jardini@gmail.com

 www.itaee.com.br