

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

LT 500 kV TERMINAL RIO – NOVA IGUAÇU: UMA SOLUÇÃO NÃO CONVENCIONAL PARA UM CIRCUITO DUPLO DE 500 kV

**PAULO ESMERALDO(1); ROBERTO LUIS SANTOS NOGUEIRA(2); ALLAN LACERDA FRANÇA(1);
CARLOS BELMIRO CAMPINHO DE CARVALHO(3); ALCEDO QUINTILIANO(4); BRAULIO CHUCO(5)
STATE GRID BRAZIL(1); POWERSYS ENGENHARIA(2); ONS(3); ENGEPRO(4); POWERCONSULT(5)**

RESUMO

No Sistema de Transmissão ± 800 kV CCAT Xingu-Rio, configuração inicial, a Estação Conversora Terminal Rio se interliga ao subsistema sudeste através do seccionamento de duas LTs 500 kV existentes e por duas novas LTs 500 kV, sendo preconizado no Edital a configuração Circuito Simples. Entretanto, diante da inviabilidade de se implantar as duas faixas de segurança das LTs novas, 60m cada, em uma região caracterizada pela expansão urbana e aspectos socioeconômicos sensíveis, tornou-se premente adotar o Circuito Duplo. Este artigo descreve os estudos, soluções e critérios considerados, objetivando maior confiabilidade e segurança operativa deste C.Duplo com relação às configurações tradicionais existentes, devido à importância sistêmica deste.

PALAVRAS-CHAVE

Projeto eletromecânico elétrico e estrutural, coordenação de isolamento, desempenho de LTs, critério de projetos, soluções inovadoras, modelagem EMTP-ATP, requisitos de confiabilidade.

1.0 INTRODUÇÃO

O bipolo ± 800 kV CCAT Xingu – Rio possui 4.000 MW de capacidade de transmissão e extensão de 2.550 km, interligando as Estações Conversoras Xingu, em Anapu/PA, e Terminal Rio, em Paracambi/RJ. Na configuração inicial, o mesmo se conecta ao SIN-Sudeste através do seccionamento de duas linhas existentes de 500 kV FURNAS, com novos trechos de 2 km de extensão cada, e pela implantação de duas novas LTs de 500 kV de 32 km cada, que se estendem até a SE Nova Iguaçu. Todas as LTs foram previstas no Edital ANEEL na configuração circuito simples.

Todavia, em se tratando das LTs T.Rio – N.Iguaçu, diante das severas dificuldades para se implantar duas faixas de segurança de 60m em uma região caracterizada pela presença de minifúndios, loteamentos residenciais, área de expansão industrial e especialmente afetada por aspectos socioambientais sensíveis, tornou-se premente a substituição dos dois circuitos simples por um Circuito Duplo. O objetivo foi estabelecer um traçado flexível, ajustável, tecnicamente viável de ser implementado e que, concomitantemente, mitigasse os principais impactos mapeados. Esta solução possibilitou não somente reduzir a faixa de servidão e atenuar a afetação sobre o uso e ocupação de solo, como também mitigar a supressão de vegetação do já sensível Bioma Mata Atlântica na região atravessada pela LT.

Contudo, esta alteração para Circuito Duplo estava condicionada ao atendimento *sine qua non* de que seu desempenho fosse equivalente e/ou superior à configuração original (dois C.Simples), tendo em vista a importância desta interligação. Assim, tornou-se necessário aplicar um conjunto de critérios, requisitos e soluções de projeto que visavam majorar o nível de segurança e confiabilidade global desta LT em relação às soluções tradicionais de circuitos duplos existentes na Rede Básica.

Este artigo apresenta, portanto, as características específicas, configurações e metodologias adotadas neste Circuito Duplo, que transformaram esta LT numa solução *sui generis* no SIN, sendo apresentados os principais parâmetros implementados nos projetos Básico e Executivo.

2.0 PROJETO ELETROMECÂNICO

Os principais aspectos do projeto eletromecânico estão associados à adoção de critérios de dimensionamento mais severos no que tange ao período de retorno do vento, fator de segurança das cadeias de isoladores, suportabilidade dielétrica do isolamento da LT, condição de tração dos condutores, dentre outros.

O feixe de condutores da LT é composto por 4 x CAA 954 kCM – Rail e o arranjo de cabos para-raios por 2 x OPGW 16,75 mm, de forma a manter as duas rotas óptica preconizadas na solução original de dois circuitos simples.

Para se elevar a robustez global do empreendimento e, por consequente, aprimorar os níveis de confiabilidade e segurança da instalação, foi estabelecido um período de retorno de 500 anos para a determinação das velocidades

de vento e pressões atuantes, em substituição ao limite usual de 250 anos. Destaca-se que este parâmetro é, inclusive, superior ao requisito definido para os Bipolos I e II UHVDC Belo Monte, sendo a LT UHVDC Xingu-Rio pertencente ao mesmo Lote do Edital ANEEL. Os valores são indicados na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparativo de Parâmetros de Vento

LT	Período de Retorno	Vento Extremo (10 min)			Vento Alta Intensidade (3s)	
		Vel. Básica	Pressão Din. Ref. (q_0)	PV _{COND} PV _{PR}	Vel. Básica	Pressão Din. (q_i)
LT 500kV (C.Simples)	250 anos	115 km/h	63,3 kgf/m ²	128 kgf/m ² 134 kgf/m ²	185 km/h	164 kgf/m ²
LT ±800kV UHVDC Xingu - Rio	250 anos	115 km/h	59,4 kgf/m ²	123 kgf/m ² 130 kgf/m ²	185 km/h	154 kgf/m ²
LT 500kV TRI-NVI (C.Duplo)	500 anos	125 km/h	75 kgf/m ²	167 kgf/m ² 173 kgf/m ²	205 km/h	201 kgf/m ²

Ressalta-se que esta premissa especial de projeto foi a primeira a ser aplicada integralmente em uma LT do SIN, tendo impacto direto em todos dos demais dimensionamentos eletromecânico, estrutural e civil da instalação.

Com relação à definição da carga nominal das cadeias de isoladores, foram definidos limites de fatores de segurança superiores aos preconizados na ABNT NBR-5422, conforme indicado na tabela a seguir. Destaca-se o uso de cadeia de ancoragem com penca quádrupla de isoladores.

LT	Cadeia Suspensão		Cadeia de Ancoragem	
	Carga Ruptura	Fator Segurança	Carga Ruptura	Fator Segurança
LT 500kV (C.Simples)	1 x 160 kN	1,67	2 x 240 kN	1,67
LT 500kV TRI-NVI (C.Duplo)	1 x 240 kN	2,37	4 x 240 kN	2,59

Além disso, com relação ao critério de tração dos cabos condutores, a condição de governo EDS, final com *creep*, sem vento, foi limitada a 18% da carga de ruptura do cabo. Ou seja, inferior aos limites típicos usualmente adotados para estes cabos nas LTs de EAT. Por sua vez, a condição de tração dos cabos OPGW também foi limitada, de forma que sua flecha ficasse a 85% da flecha do condutor.

3.0 PROJETO MECÂNICO/ESTRUTURAL

Em se tratando das premissas estruturais, destacam-se os critérios de dimensionamento e hipóteses de carregamento especiais, majoração do fator de sobrecarga para cálculo das fundações e demais condicionantes.

Para a definição das hipóteses de carregamento, foram estabelecidas árvores de carregamento para as condições:

- Vento Extremo / Vento de Alta Intensidade: Transversal, Longitudinal, 45°, 60° e 75°.
- Construção / Grampeamento / Contenção de Cascata: Condição sem vento.
- Ruptura de 1 fase ou 2 fases (uma em cada circuito) / Ruptura de 1 Para-raios: Condição sem vento.

Na hipótese de ruptura do condutor, em especial, foi incluída a condição de 1 fase rompida **simultaneamente** em cada um dos circuitos da LT, visando similaridade com uma fase rompida em cada LT C. Simples.

Quanto ao dimensionamento estrutural, foram definidos coeficientes de minoração das resistências das barras mais conservativos que os preconizados na ABNT NBR 8850, conforme indicado na tabela a seguir.

Tabela 2 – Fator de Minoração das Resistências das Barras

LT	ABNT NBR 8850	LT 500kV TRI-NVI (C.Duplo)
Torre de Suspensão Ensaída	0,93	0,90
Torre de Susp. Não-ensaída	0,90	0,87
Torre de Ancoragem	0,87	0,85

Além disso, foi impedida a aplicação de torres estaiadas, prevalecendo a utilização estritamente de estruturas autoportantes. O que não seria possível devido às características da região atravessada.

A série de estruturas e o respectivo peso para as alturas típicas são indicados na tabela a seguir.

Tabela 3 – Características da Série de Estruturas

LT	V.Vento	Defl. Máxima	V.Peso	Altura Típica / Peso
Suspensão Leve	475m	0°	600m	Hu=36,0m / 37,94 ton
Suspensão Pesada	600m	5°	700m	Hu=34,5m / 42,57 ton
Ancoragem Média	450m	25°	1100m / -550m	Hu=28,5m / 58,54 ton
Anc. Pesada / Terminal	450m	60°	900m / -550m	Hu=25,0m / 83,53 ton

Acompanhando o elevado nível de suportabilidade mecânica estrutural pretendida, tem-se que para a definição dos *stubs* e dos projetos de fundação, as cargas últimas transmitidas pela estrutura às fundações tiveram seus valores majorados em **1,15**, ou seja, superior ao coeficiente de sobrecarga de **1,10** estabelecido em norma. Torna-se, dessa maneira, irrefutável o caráter conservativo que abrange todo o projeto estrutural.

4.0 COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO

O estudo de coordenação de isolamento foi outro importante quesito tratado no escopo das condições especiais de projeto, uma vez que o desempenho elétrico de LTs é um fator de extrema relevância quando se comparam as soluções de circuitos simples *versus* duplo.

Na análise à Frequência Industrial, para cálculo dos ângulos de balanço das cadeias de isoladores, foi estabelecido o período de retorno de **75 anos** para determinação da Velocidade Básica de vento (30s), em substituição ao parâmetro de 50 anos recomendado nos Procedimentos de Rede. Além disso, a velocidade de vento para todas as fases deveria ser corrigida considerando a altura da fase superior, o que representou um fator de segurança adicional para este critério.

Parâmetro	LT 500kV Típica	LT 500kV TRI-NVI (C.Duplo)
Período de Retorno	50 anos	75 anos
Vel. Básica de Vento (30s)	130 km/h	140 km/h
q0	97 kgf/m ²	124 kgf/m ²
Relação Vp/Vv Mínima	0,7	0,8
Ângulo de Balanço Torre Leve / Torre Pesada	≈40° / ≈45°	50° / 56°

Não obstante, o tema de maior criticidade foi o estudo do desempenho da LT sob descargas atmosféricas, pois, como se sabe, as configurações em C.Duplo apresentam maior vulnerabilidade em comparação a C.Simples. Além disso, a LT está localizada em uma região com grande incidência de descargas. Portanto, a busca por melhor performance concentrou-se tanto no aperfeiçoamento das metodologias de simulação, como também em soluções mais robustas e não convencionais para a configuração da LT.

Neste quesito, foi estabelecido que não somente o índice de desligamentos fosse inferior a 1 deslig./100km/ano, como também que não houvesse desligamentos simultâneos de ambos os circuitos, de forma a se tornar compatível com desempenho de dois circuitos simples.

Desta forma, tornou-se necessário desenvolver uma LT com nível de isolamento significativamente superior ao das LTs 500kV existentes no país, com impacto nas cadeias de isoladores, distâncias de isolamento nas estruturas, ampliada disposição geométrica dos cabos e melhoria da efetividade na blindagem pelo cabos para-raios. Além disso, soluções otimizadas para redução da resistência de aterramento das estruturas foram especialmente consideradas.

A busca de maior segurança quanto ao desempenho elétrico também concentrou-se no aperfeiçoamento da metodologia de avaliação frente às descargas atmosféricas, de forma permitir a consideração e avaliação de todas as ações especiais implementadas na LT, visando sua equiparação com a configuração em circuitos simples.

4.1 MODELAGEM PARA ESTUDOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS – ANÁLISE DE DESLIGAMENTOS SIMULTÂNEOS

Para se avaliar esta configuração de Circuito Duplo, tornou-se necessário desenvolver uma modelagem diferenciada em ATP-EMTP, considerando a representação específica dos elementos/configuração da LT e análise estatística por método Monte Carlo, contemplando descargas diretas e indiretas. Este modelo foi implementado especialmente para permitir a avaliação dos desligamentos simultâneos de ambos os circuitos, bem como da eficácia das soluções não convencionais ora propostas, o que não seria possível através de softwares de simulação comumente utilizados.

Na simulação estatística foram consideradas variações nos seguintes parâmetros:

- Corrente de pico da descarga;

- Tempos de frente e de cauda da onda;
- Possibilidade de escorvamento (descarga disruptiva) nos gaps e cadeias de isoladores;
- Ângulo de fase da tensão operativa do sistema.

A modelagem ATP-EMTP considerou os seguintes elementos:

• Linha de Transmissão

Consideradas suas características: silhueta predominante, comprimento, feixe de cabos condutores, para-raios, vão típico. Sendo adotada a rotina LCC – JMarti, modelo de parâmetros distribuídos e dependentes da frequência.

• Modelagem do Sistema

A Figura 1 apresenta a configuração adotada, com modelagem de 4 vãos de 450m, com trechos 15,15 km de LT até às subestações, com extensão total de 32,1 km.

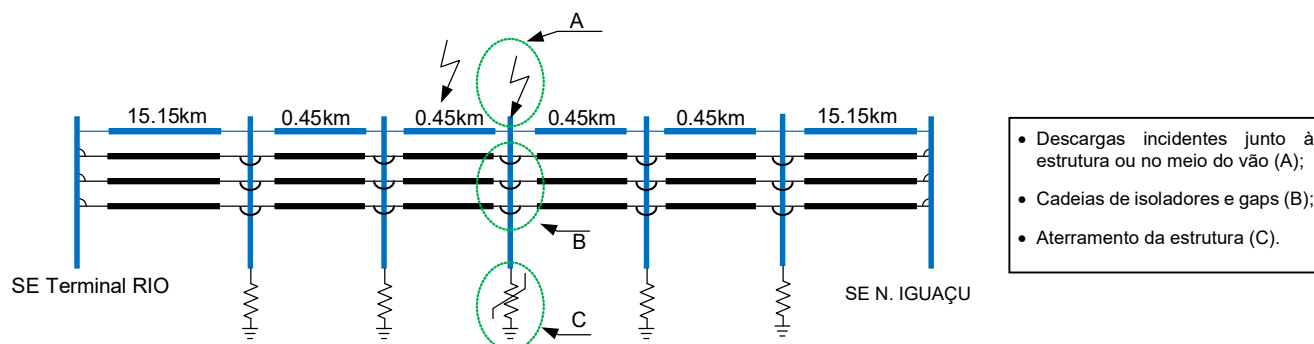


Figura 1 - Configuração da LT, indicando descarga na torre ou no meio do vão e demais elementos.

• Cadeias de Isoladores da LT

O flashover no gap da cadeia de isoladores foi modelado conforme a metodologia do CIGRE (Leader Progression Model: LPM) [10] com os seguintes parâmetros:

- $E_0 = 600 \text{ kV/m}$;
- $K = 1,3 \times 10^{-6}$ (polaridade negativa);
- Gaps nas cadeias: 4,25 m no Circuito 1 e 4,08 m no Circuito 2, conforme tratado no Item 4.2;
- Gaps na estrutura: 4,25 m;
- Desvio padrão para o escorvamento estatístico nas cadeias de isoladores ou gaps na estrutura: 3σ .

• Corrente de Descarga

A forma de onda do impulso de descarga é indicada na Figura 2, tendo variação dos parâmetros do tipo estatístico em distribuição log-normal, em concordância com a Brochura 63 do CIGRE. A curva de distribuição da corrente de pico é também indicada.

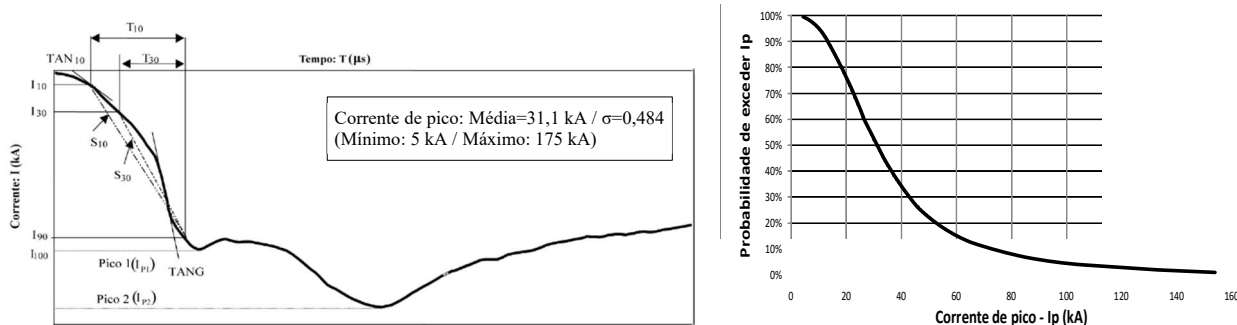
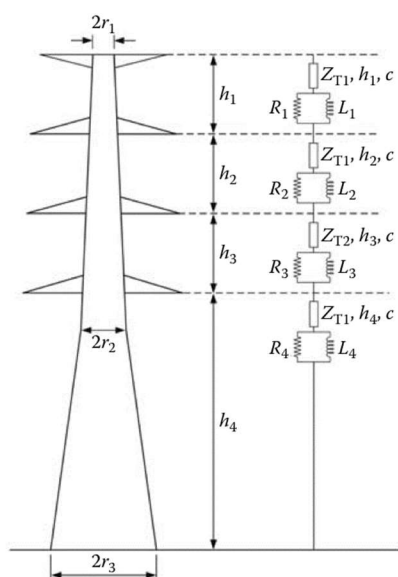


Figura 2 – Forma de onda de corrente de descarga atmosférica pol. negativa descendente.
Curva de probabilidade de pico da corrente.

• Modelagem da Torre

Modelo considera subdivisões em seções, conforme [4]:



$$Z_{Tk} = 60 \left(\ln \left(\sqrt{2} \frac{2h}{r_{ek}} \right) - 2 \right), (k = 1, 2, 3, 4)$$

$$r_{ek} = r^{\frac{1}{2}} D^{\frac{1}{2}}, n = 2$$

$$r_{ek} = r^{\frac{1}{3}} D^{\frac{2}{3}}, n = 3$$

$$r_{ek} = 2^{\frac{1}{8}} r^{\frac{1}{4}} D^{\frac{3}{4}}, n = 4$$

$$R_i = \frac{-2Z_{T1}Ln\sqrt{\gamma}}{h_1 + h_2 + h_3} h_i, (i = 1, 2, 3)$$

$$R_4 = -2Z_{T2}Ln\sqrt{\gamma}$$

$$L_i = \alpha R_i \frac{2h}{c}, (i = 1, 2, 3)$$

- Z_{T1} : Impedância de surto da torre das três partes superiores;
- Z_{T2} : Impedância de surto da torre da parte inferior;
- h_i : Alturas das seções da torre;
- τ : Coeficiente de atenuação (1,0);
- α : coeficiente de amortecimento (0,8) e a velocidade de propagação de surto atmosférico igual a 300 m/us.

Figura 3 - Detalhe da modelagem da torre

• Resistência de Aterramento

A resistência de aterramento das estruturas foi definida conforme referência [4]:

$$R_f = \frac{R_0}{\sqrt{1 + \frac{I}{I_g}}}$$

$$I_g = \frac{1}{2\pi} \frac{E_0 \rho}{R_0^2}$$

- R_0 - Resistência a 60 Hz
- I_g - Corrente limite de início de ionização do solo em (kA)
- ρ - Resistividade do solo (ohms-m)
- E_0 - Gradiente de ionização do solo (400kV/m)

Na Figura 4 é apresentado o sistema completo configurado no ATP, contendo todas as modelagens descritas.

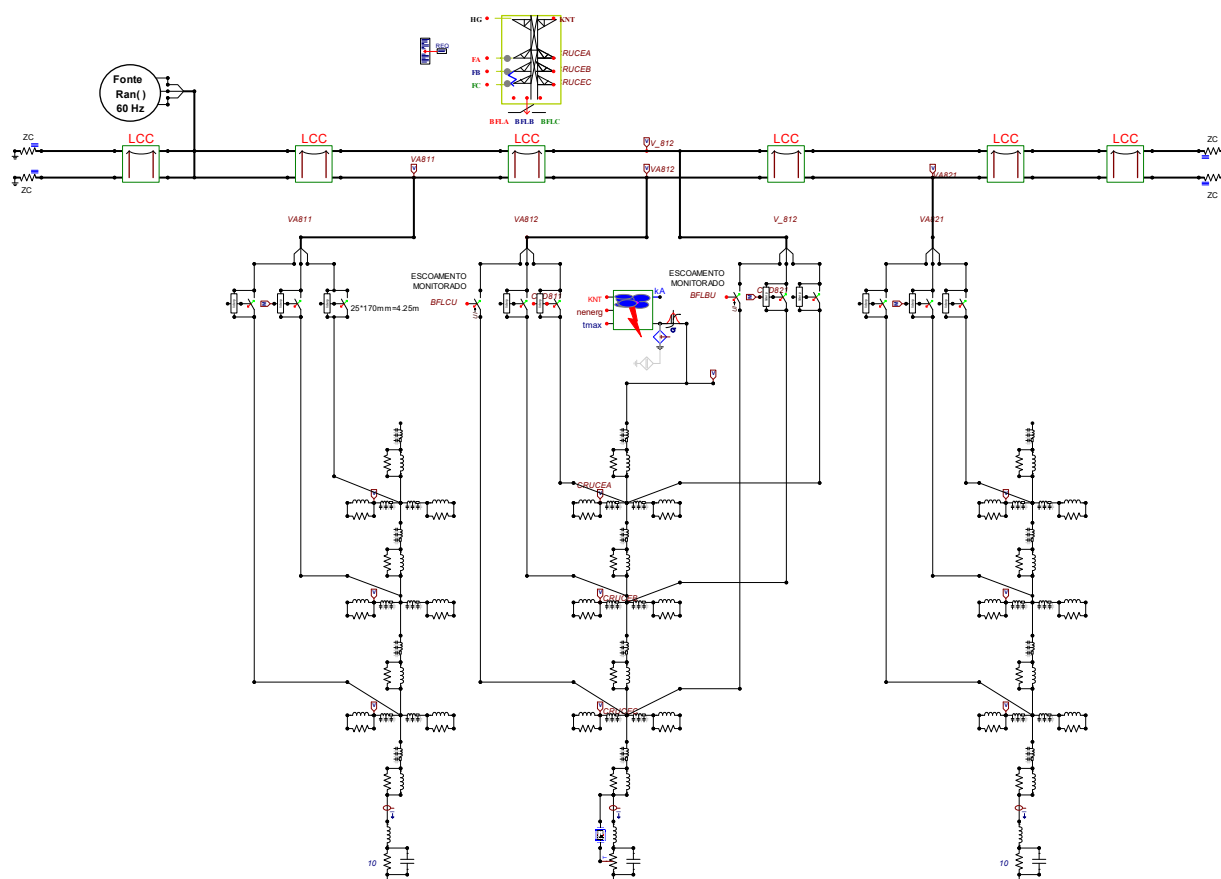


Figura 4 – Modelo completo representado no ATPDraw.

4.2 SOLUÇÕES ESPECIAIS APLICADAS

Tendo em vista a necessidade de atendimento aos requisitos de desempenho sob descargas atmosféricas, tornou-se necessário implementar as seguintes soluções: aumento das cadeias de isoladores e das distâncias de isolamento na estrutura (superiores às LTs 500kV existentes, solução otimizada para redução da resistência de aterramento, melhoria da configuração geométrica e da blindagem dos cabos para-raios.

Na modelagem ATP foram considerados gaps de 4,25 m associados à distância de isolamento na torre e nas cadeias. Estas compostas por 25 isoladores de passo 170 mm, conforme Figura 5. Ressalta-se que este nível de isolamento é significativamente superior ao tipicamente adotado em LTs 500 kV (de 3,74 m), visando aprimorar o desempenho da LT sob descargas atmosféricas.

Além disso, como forma de prover critérios adicionais de confiabilidade, reduzindo ainda mais a pequena probabilidade de ocorrência de desligamentos simultâneos em ambos os circuitos, foi avaliado na modelagem ATP a eficácia da solução de cadeias de isoladores diferenciadas entre os circuitos, de acordo com a seguinte configuração:

- **Circuito 1:** Cadeias de isoladores com comprimento isolante de 4,25 m associado a 25 isoladores (nas 3 fases);
- **Circuito 2:** Cadeia de isoladores com comprimento isolante "reduzido" de 4,08 m (nas 3 fases). A mesma quantidade de 25 isoladores, mas empregando raquete e anel anticorona, visando a redução da distância isolante.

Esta solução de cadeias diferenciadas visa estabelecer um dos circuitos como "de sacrifício", possuindo maior probabilidade de *backflashover* devido ao seu nível de isolamento inferior. Ressalta-se, contudo, que este isolamento "reduzido" para descargas atmosféricas ainda é superior aos níveis de isolamento típicos das LTs 500kV.

Desta forma, buscou-se o pleno atendimento ao critério de desempenho global da LT quanto ao índice de desligamentos por descargas atmosféricas, bem como o aumento da confiabilidade frente a eventuais falhas simultâneas em ambos os circuitos, conforme condicionante técnica estabelecida.

São indicados a seguir os desenhos de detalhamento da cadeia de suspensão IS24 e IS24R:

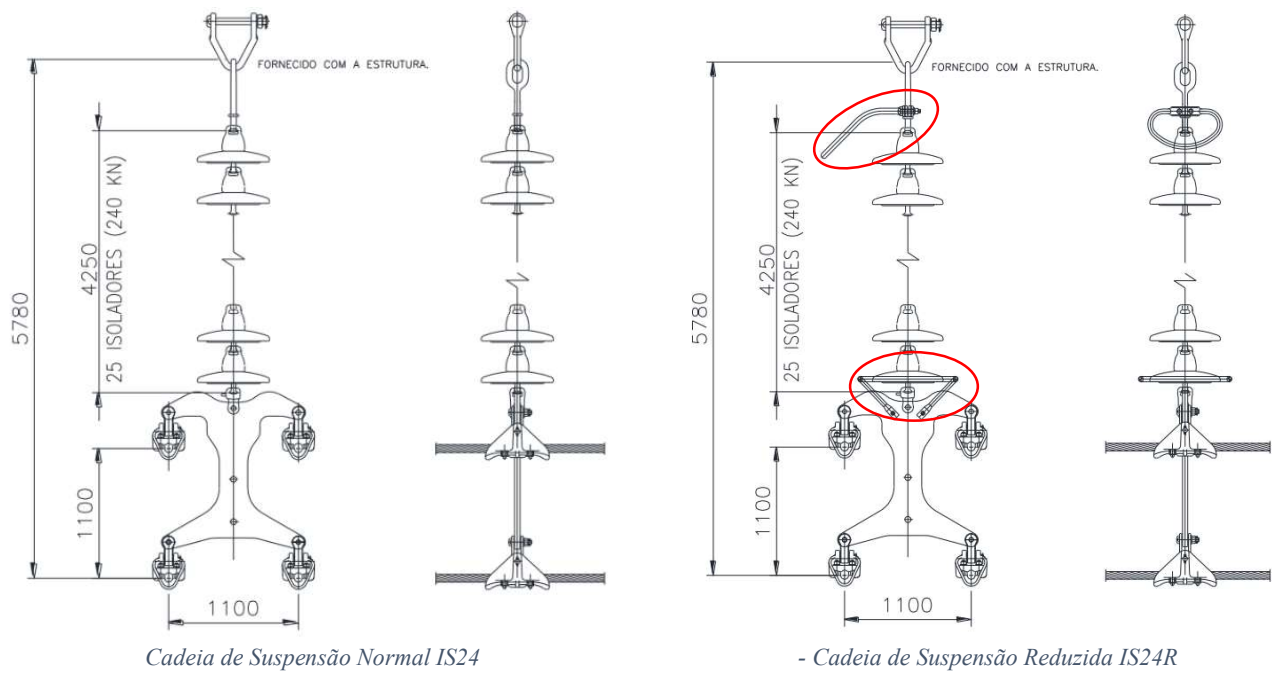


Figura 5 - Cadeias de Suspensão.

Na tabela a seguir são apresentadas as características das cadeias de isoladores da LT 500 kV TRI-NVI *versus* uma cadeia tipicamente aplicada em LTs 500kV.

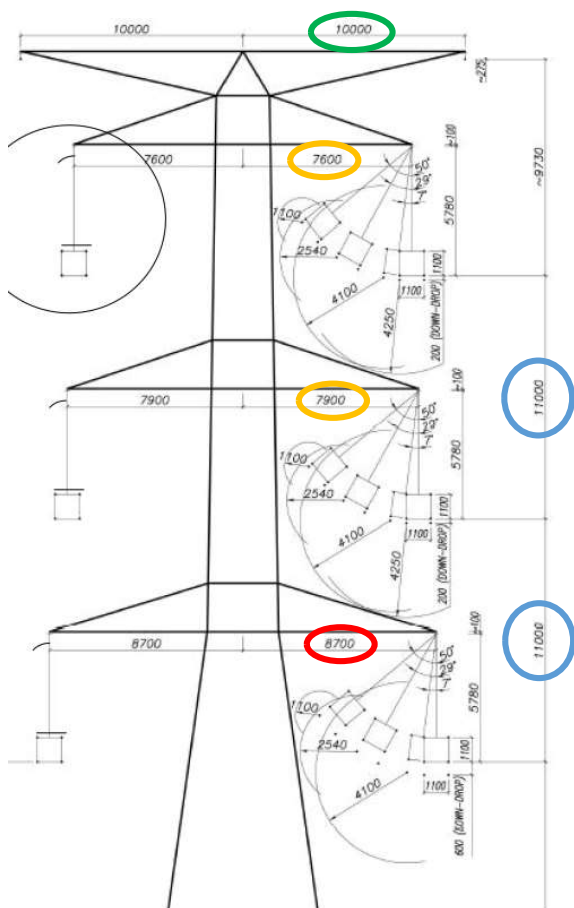
Tabela 4 – Características das cadeias e distâncias de isolamento Desc. Atmosféricas.

LT	Torre Suspensão		Torre Ancoragem	
	Nº de Isoladores	Dist. Isol F-T (Desc. Atm)	Nº de Isoladores	Dist. Isol F-T (Desc. Atm)
LT 500kV Típica	22	3,74 m	23	3,91 m
LT 500kV TRI-NVI (C.Duplo)	25	4,25 / 4,08 m	27	4,59 / 4,42 m

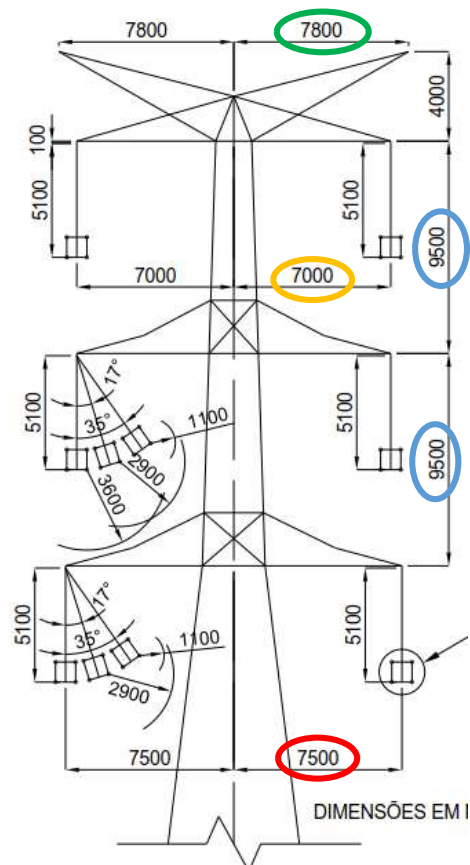
Outra medida de extra importância para aprimorar o desempenho da LT foi a implantação de sistema de aterramento composto por até 6 cabos contrapesos, dispostos radialmente, com comprimento máximo de 120 m, objetivando uma resistência de aterramento média de 10 Ω , mas perseguindo o critério individual de 5 Ω . A condição foi plenamente atendida, tendo sido atingido a média de 6 Ω . Destaca-se também que a configuração de contrapesos adotada foi definida devido ao seu bom desempenho transitório sob solicitações impulsivas de frente rápida.

A Figura 6 apresenta um comparativo entre as silhuetas, indicando claramente a robustez na configuração geométrica dos cabos na torre, destacando-se melhorias quanto aos seguintes aspectos:

- Distâncias de isolamento nas cadeias e na estrutura – Desempenho descarga atmosférica;
- Ângulos de balanço das cadeias – Desempenho à Frequência Industrial e Surtos Manobra;
- Posição dos cabos para-raios – Blindagem contra incidências Desc. Atm. diretas no condutor;
- Distâncias Fase-Fase – Consequência das maiores distâncias Fase-Terra adotadas.



**Silhueta LT 500kV
TRI-NVI CD**



**Silhueta LT CD
500kV**

Figura 6 – Comparativo silhuetas de torres de Suspensão Leve - LT 500kV TRI-NVI vs. C. Duplo convencional.



Figura 7 – Estruturas de suspensão e ancoragem da LT 500kV TRIO – NVI.

4.3 RESULTADOS DESEMPENHO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Considerando a densidade de descarga para a região, de 13 descargas/km²/ano, obtém-se a quantidade de 419 descargas/100 km/ano. Para avaliar o número de casos de simulação, avaliou-se o número total de descargas incidentes sobre a LT (extensão de 32,1 km) ao longo de 30 anos de operação, o que corresponde a 4034 descargas. Foram consideradas, para análise de desempenho, 2100 casos de simulação, o que representa um nível de confiança de 99% com margem de erro inferior a 2%, de acordo com modelos estatísticos de amostragem [9].

Foram realizadas simulações para a configuração de cadeias simétricas, com distância de isolamento de 4,25m em ambos os circuitos, e cadeias assimétricas, com cadeias de isoladores com distância 4,25 m no C1 e 4,08 m no C2. De forma a permitir uma simples análise comparativa, foram simuladas também as taxas de desligamento de um dos circuitos através do programa Flash, pois o mesmo não é capaz de avaliar desligamentos simultâneos. Os resultados obtidos são indicados abaixo.

Tabela 5 – Comparativo de Taxas de Falhas (Deslig./100km/ano)

Condição	Configuração Cadeias Simétricas	Configuração Cadeias Assimétricas)
Flash	0,710*	0,780**
Desligamento de apenas 1 dos Circuitos (C1 ou C2)	0,720	0,824
Desligamento Simultâneo dos 2 Circuitos (C1 e C2)	0,208	0,064

* Resultado para cadeia maior (4,25m).

** Resultado para cadeia menor (4,08 m).

Os valores obtidos para os desligamentos demonstraram que:

- ✓ O conjunto de todas as ações conferiu a este C.Duplo o índice de 0,824 deslig./100km/ano, com pleno atendimento ao desempenho sob descargas atmosféricas especificado, inferior a 1 deslig/100km/ano.
- ✓ Destaca-se ainda que todas as condições de modelagem resultaram em valores abaixo deste requisito.
- ✓ Desligamentos simultâneos apresentaram uma redução de 70% no índice (de 0,208 para 0,064), comprovando a efetividade desta solução.
- ✓ Na configuração com cadeias simétricas, a taxa de falhas simultâneas em circuitos duplos (0,208) corresponde a 29% da taxa de desligamentos de um dos circuitos (0,720), o que seria crítico para esta LT.
- ✓ O aumento do índice de desligamentos de um dos circuitos (C1 ou C2) da configuração simétrica (0,720) para a assimétrica (0,824) deve-se à redução da suportabilidade de isolamento de um dos circuitos.
- ✓ Os desligamentos simultâneos de ambos os circuitos, geralmente, não são considerados como condição crítica nos projetos. Todavia, neste empreendimento, tal ocorrência causaria grande impacto no Sistema. Por isto, foi estabelecida a meta de minimização extrema deste risco. Por isso, como medida inovadora, foi desenvolvida uma solução com cadeias assimétricas entre circuitos.

Não obstante, como medida suplementar, de forma a amplificar a confiabilidade e a segurança da LT, adotou-se a sequência de fases invertida entre os circuitos, ou seja, ABC-CBA. Com isso, em casos extraordinários de desligamento simultâneo de ambos os circuitos, torna-se possível o religamento monopolar e preservação da interligação Terminal Rio-Nova Iguaçu, uma vez que as simulações mostraram que esses desligamentos ocorrem basicamente nas fases inferiores.

5.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aplicação simultânea de requisitos de dimensionamento mais rigorosos, em especial, o período de retorno do vento de 500 anos, os critérios mecânicos do projeto das estruturas, o maior nível de isolamento das cadeias de isoladores, a amplitude na configuração geométrica, distâncias de isolamento na estrutura e posição dos cabos para-raios, melhorias no sistema de aterramento das estruturas, dentre outros aspectos, tornaram esta LT uma solução única no SIN, com elevados parâmetros de performance específicos e suportabilidade global.

Não obstante, como medida complementar de melhoria quanto ao, já reduzido, índice de desligamentos simultâneos de ambos circuitos sob descargas atmosféricas, foi implementada a solução de cadeias assimétricas entre os circuitos, caracterizando-se com uma medida bastante eficaz na mitigação de eventuais desligamentos simultâneos.

Portanto, as soluções adotadas neste Circuito Duplo, com critérios de projeto únicos e diferenciados, resultaram em uma LT com elevada superioridade técnica quanto à robustez eletromecânica e estrutural, bem como desempenho elétrico. Assim, não somente restou assegurada sua equivalência com relação aos dois Circuitos Simples, mas, sobretudo, estabeleceu-se uma LT com significativo nível de confiabilidade, segurança e desempenho operativo.

6.0 BIBLIOGRAFIA

- [1] L5B2-PB-RT-0002-0A, "Velocidade de Vento e Carregamentos - Projeto Básico - LT 500 kV T.Rio – N.Iguaçu C. Duplo". XRTE/Engpro.

- [2] L5B2-PB-RT-0008-0B, "Coordenação de Isolamento", Projeto Básico - LT 500 kV T. Rio – N. Iguaçu C. Duplo". XRTE/Engepro.
- [3] L5B2-PB-RT-0003-0A, "Velocidade de Vento e Carregamentos - Projeto Básico - LT 500 kV T. Rio – N. Iguaçu C. Simples". XRTE/Engepro/Leme.
- [4] L5B2-PB-RT-0008-0A, "Coordenação de Isolamento", Projeto Básico - LT 500 kV T. Rio – N. Iguaçu C. Simples". XRTE/Engepro/Leme.
- [5] 1243 -1997 – IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Line.
- [6] 1410-2004 – IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines.
- [7] A. J. Eriksson, "The Incidence of Lightning Strikes to Power Lines", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 2, n. 3, pp. 859-870, July 1987.
- [8] G. Furst, "Monte Carlo lightning backflash model for EHV lines. A MODELS-based application example", European EMTP/ATP Users Group Meeting, November 10-12, 1996, Budapest.
- [9] H. Bolfarine, W. O. Bussab, "Elementos de Amostragem, Ed. Blucher; 1ª edição, 2005.
- [10] Cigre, Application Guide for Insulation Coordination and Arrester Protection of HVDC Converter Stations, Prepared by WG 33-05.

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) PAULO ESMERALDO

Engenheiro Eletricista pela UFRJ, especialista em Sistemas de Transmissão de Energia. MsC. UNIFEI, IEEE Fellow, CIGRE Technical Committee Award e Membro honorário do CIGRE. Atualmente é Consultor da State Grid Brazil Holding para projetos de P&D. De 2016 a 2020 foi Diretor-Presidente Adjunto da XRTE, responsável pela implantação do Bipolo II UHVDC do Sistema de Transmissão de Belo Monte. Foi Superintendente de Transmissão de Energia da EPE entre 2005 a 2013, envolvido no Planejamento de Transmissão do SIN. Trabalhou 26 anos em FURNAS, onde foi Chefe do Departamento de Planejamento da Transmissão. Autor de mais de cem artigos técnicos.

(2) ROBERTO LUIS SANTOS NOGUEIRA

Engenheiro Eletricista, graduado em 1999 pela UFRJ, com M.Sc. em 2006 pela COPPE/UFRJ em Sistemas de Potência. Atuou no desenvolvimento de Projetos Básico/Executivo e Estudos de importantes LTs no Brasil e exterior, com participação em P&Ds na Fluxo Engenharia e SNC-Lavalin/Marte Engenharia. Desempenhou Gerência Técnica e de Implantação de Projetos de Transmissão 500kV na Isolux Concessiones. Como Gerente de Engenharia na StateGrid, participou do projeto da LT UHVDC ± 800 kV Xingu-Rio e das LTs/SEs Sistema 230/500kV Teles Pires II. É sócio da empresa PowerSys Engenharia e, no presente, atua na Engenharia de LTs na ENEL.

(3) ALLAN LACERDA FRANÇA

Engenheiro eletricitista pelo CEFET/RJ, 2009. Pós graduado em Gestão em Eficiência Energética, UCP/RJ, 2011 e Gestão e Gerenciamento de Projeto, UFRJ, 2019. Mestrado em Administração e Finanças pela Université d'Angers, 2020.

(4) CARLOS BELMIRO CAMPINHO DE CARVALHO

Engenheiro eletricitista formado pela UCP em Petrópolis onde lecionou por 20 anos. É pós graduado pela PUC-Rio. De 1986 a 2005 trabalhou em empresas de projeto e construção de linhas de transmissão (LT). Desde 2006 trabalha no ONS com anexos técnicos dos editais de leilão de transmissão, projetos básicos de LT, revisão dos Procedimentos de Rede, reuniões com agentes e instituições do setor como ANEEL, MME, EPE, CEPEL e participa de comitês técnicos do CIGRE e COBEI. Foi coordenador do projeto ONS/INPE para elaboração do mapa Brasil de densidade de descargas atmosféricas

(5) ALCEDO QUINTILIANO

Consultor na área de projetos de linhas de transmissão, formado pela EEVA – Rio de Janeiro, em 1978, com mais de 40 anos de experiência em estudos e projetos elétricos e mecânicos para linhas ac até 765 kV, e cc até 800 kVCC, atuando nas definições dos projetos: conceitual, básico e executivo dos dois bipolos do Rio Madeira e dos dois bipolos de Belo Monte, e das suas conexões ao SIN, e dos projetos básicos e executivos das principais Linhas em 500 kV de SIL elevado de 1670 MW no Brasil. Sócio da empresa de projetos ENGEPRO Engenharia.

(6) BRAULIO CHUCO

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela FIEE/UNAC - Perú, mestrado em Engenharia Elétrica pela DEL/UFMS e doutorado em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica de Potência pela COPPE/UFRJ. Têm experiência em estudos de Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência, Modelagem de sistemas HVDC-LCC, HVDC-VSC, HVDC-MMC, Compensadores Estáticos SVC, STATCOM, Aerogeradores com máquinas DFIG, Gaiola de Esquilo, Máquina Síncrona de Ímã Permanente e Parques Eólicos para análise de Transitórios Eletromagnéticos em EMTP/ATP, EMTDC/PSCAD. Atualmente é professor no DEPES/CEFET-RJ.