



GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

IMPACTO DO PARALELISMO DE LINHAS SUBTERRÂNEAS DE CABOS A ÓLEO NO DIMENSIONAMENTO DE NOVOS CIRCUITOS SUBTERRÂNEOS

Fabio Junior Neves (*)
Consultor independente

Aline Pontes de Oliveira de Lima
Light S.E.S.A

Debora Microni Soares
Light S.E.S.A

Lennon Almeida Rodrigues
Light S.E.S.A

Júlio Cesar da Costa Marins
Light S.E.S.A

Fabio Gabriel de Oliveira
Prysmian

Woong Jin Lee
Prysmian

Gabriel Lima de Oliveira Correa
Elecnor

RESUMO

Este artigo tem como objetivo demonstrar a influência do paralelismo de cabos à óleo no dimensionamento de novos circuitos subterrâneos 138kV, onde o estudo de fluxo de potência realizado se baseia na diferença de impedância entre os cabos de diferentes tecnologias (OF x XLPE), que influencia diretamente no carregamento dos circuitos nos casos de contingência simples (N-1). Essa diferença de impedância se não levado em consideração, acarretará em erro no projeto de dimensionamento do condutor e possível sobrecarga no sistema. Além disso, serão apresentados os aspectos técnico-ambientais relacionados ao projeto

PALAVRAS-CHAVE

Paralelismo – Parâmetros elétricos – Fluxo de potência – Contingência simples – Cabos isolados

1.0 INTRODUÇÃO

O plano de reforço do sistema elétrico de distribuição do Rio de Janeiro para atender o aumento da demanda energética em algumas regiões prevê a recapacitação ou instalação de algumas linhas de distribuição 138 kV.

As concessionárias de distribuição com área de concessão localizadas em grandes centros urbanos possuem dificuldade em expandir o seu sistema adotando soluções aéreas convencionais, tendo em vista a intensa ocupação territorial e novas legislações que limitam o uso de torres de transmissão em vias urbanas. A população atualmente exige projetos que atenuem o impacto ambiental e garanta a segurança e bem-estar dos moradores da região. Com isso, muitas vezes as distribuidoras buscam alternativas de atendimento às novas instalações por meio de ramais subterrâneos

A concessionária de distribuição de energia Light Serviços de Eletricidade S.A. possui um dos maiores parques subterrâneos do Brasil, sendo esta expertise consolidada a mais de 55 anos. Possui 202 km de cabos subterrâneos 138 kV instalados, composto por 145,78 km de cabos com isolamento a óleo e 56,22 km de cabos XLPE. Ressalta-se que a extensão total de circuitos subterrâneos representa um pouco mais que 10% da extensão de circuitos instalados na concessão, como pode ser visto na FIGURA 1. Porém, há uma grande tendência de elevar essa representatividade ao longo dos próximos anos.

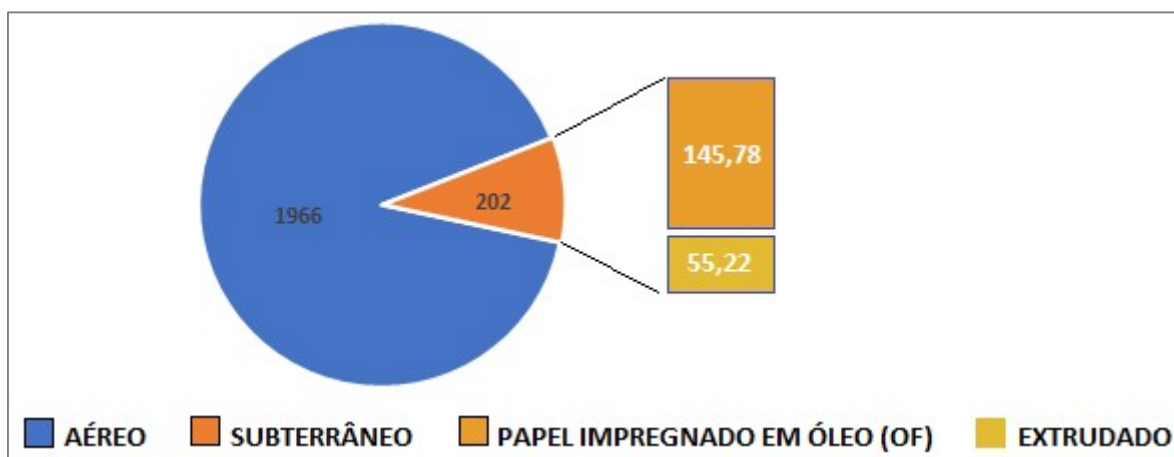


FIGURA 1 - Extensão dos circuitos Light 138 kV (em km)

Os cabos subterrâneos sofrem menos interferências externas, porém, em caso de perfurações indevidas ou defeitos gerados, por exemplo, por descargas parciais, seu reparo envolve mão de obra especializada e materiais que usualmente não estão disponíveis na reserva técnica. Essas peculiaridades acarretam num maior tempo de normalização que envolve maiores custos.

Em alguns casos a empresa se depara com a dificuldade de dimensionar cabos subterrâneos 138 kV que atendam às expectativas de carregamento conciliadas às características técnicas dos cabos existentes. Neste contexto, diante o uso de tecnologias distintas de cabos subterrâneos em uma mesma rede, além de avaliar a ampacidade e potência para o cálculo de dimensionamento de cabos subterrâneos de alta tensão (AT), torna-se necessário considerar, também, os parâmetros elétricos dos circuitos.

O desenvolvimento do trabalho consistiu nos estudos de fluxo de potência realizados no sistema de distribuição da região da Ilha do Governador considerando o paralelismo entre cabos de diferentes tecnologias e o impacto dos resultados sobre o dimensionamento dos cabos XLPE. Também, nesse trabalho é exposto as características dos ramais subterrâneos (cabos, acessórios, aterramento, tipos de instalação, disposição dos cabos, etc), os testes de comissionamento e o novo método de cadastramento e localização de ativo subterrâneo implementado.

2.0 PADRÃO CONSTRUTIVO

O padrão construtivo de uma linha de transmissão subterrânea influencia diretamente no dimensionamento do seu cabo condutor, sistema de aterramento e valor do projeto.

2.1 Banco de dutos

A fim de mitigar os riscos de danos causados por agentes externos e para facilitar a manutenção caso necessário, o modelo construtivo do banco de dutos adotado pela Concessionária para construção de linha de transmissão subterrânea (LTS) é o banco de dutos envelopado em concreto, na configuração 3H x 3V, que segue identificado na Fig. 2.

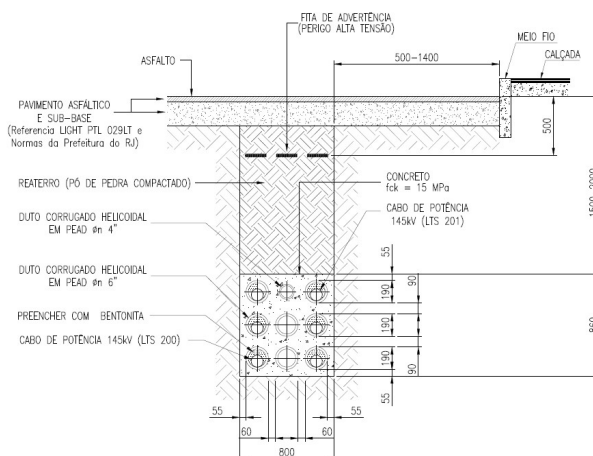


Fig. 2 - Corte típico do Banco de dutos de AT 138kV

2.2 Rota

As rotas construtivas das LTSs são escolhidas a partir de levantamento de campo, levando em consideração a rota que apresente menor impacto para população durante a execução do projeto e que ofereça menor custo benefício. Durante o anteprojeto (AP) foi estudado a viabilidade de diversas rotas, inclusive a de se interligar diretamente as subestações de origem a uma subestação interna à Ilha do Governador a fim de evitar o paralelismo elétrico com os cabos com isolamento a óleo fluido (OF) que alimentam uma mesma subestação, caracterizando o paralelismo entre os circuitos, conforme mostra a figura 4.

Entretanto, devido ao aumento do traçado, que triplicaria o comprimento da linha, onerando demasiadamente o projeto e a indisponibilidade de “Bays” para instalação de um novo circuito, estas rotas foram descartadas, optando-se pelo traçado mais curto, menos impactante e de melhor custo-benefício, porém, sofrendo influência do paralelismo com os cabos de diferente tecnologia, cabos com isolamento a óleo fluido (OF) de maior susceptância e capacitância.

Este paralelismo acarretou em valores de resistência bem abaixo dos padrões normalmente utilizados para o cálculo de dimensionamento dos novos cabos a serem instalados.

A isolação dos cabos a óleo fluido apresenta uma permissividade maior que a isolação XLPE, necessitando de um estudo mais detalhado do fluxo de potência a fim de mantermos o equilíbrio elétrico entre os circuitos no caso de contingência simples.

A escolha de uma rota de menor comprimento para a instalação dos novos circuitos favoreceu para redução dos parâmetros elétricos, uma vez estes parâmetros são proporcionais a extensão do circuito.

Na rota dos circuitos foram instalados marcadores eletrônicos georreferenciado de ativos subterrâneos, os quais facilitam a localização dos ativos enterrados e todas as interferências sobre ele, as quais são cadastradas previamente no marcador eletrônico autônomo. Este cadastramento eletrônico além de facilitar a identificação dos ativos com o uso de um simples smartphone, mitigam consideravelmente os riscos de danos causados por terceiros devido a uma eventual falha de interpretação do projeto.

3.0 DADOS DO SISTEMA ELÉTRICO

3.1 Parâmetros elétricos dos circuitos existentes

Os estudos de fluxo de potência realizados para viabilidade de expansão do sistema de distribuição 138 kV levam em consideração os parâmetros elétricos e suportabilidade dos equipamentos. Ressalta-se que o sistema é dimensionado para garantir o suprimento da demanda máxima verificada admitindo a perda de um elemento (critério N-1).

Na TABELA I constam os parâmetros elétricos dos circuitos paralelos que interligam as subestações que são objeto de análise deste artigo, onde os circuitos 102 e 148 são os que foram substituídos por cabos extrudados com isolamento em XLPE gerando subsídios para os estudos tratados neste artigo.

TABELA I. DADOS DOS CIRCUITOS EXISTENTES

LTS	102	148	163
Data de energização	1977	1977	1998
Condutor	1000 mm ² -Al - Po/Pb - OF	1000 mm ² -Al - Po/Pb - OF	1000 mm ² - Cu (3 coroas) -Po/Pb - OF
Capacidade nominal	158 MVA	158 MVA	137 MVA
Capacidade em emergência	172 MVA	172 MVA	150 MVA
Forma construtiva	Condutor enterrado	Condutor enterrado	Banco de dutos
Tipo de aterramento	Crossbonding	Crossbonding	Aterramento em ambas extremidades

4.0 PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO

O planejamento da expansão do sistema 138 kV da concessionária realiza diversas simulações de fluxo de potência no intuito de obter a opção otimizada de ampliação com base no crescimento da carga, considerando o horizonte de 10 anos. Dentre as obras previstas a partir dos estudos realizados, se encontra a recapacitação das linhas de distribuição 138 kV subterrâneas (LTSs) que interligam as subestações Cordovil e Brás de Pina, porta de entrada para o suprimento da Ilha do Governador, RJ. Sendo prevista a substituição de cabos 132 MVA por cabos de maior capacidade. Estas subestações, antes da execução do novo projeto, eram conectadas por três circuitos, todas com cabos isolados a óleo e estas linhas operando em paralelo, conforme visto na Fig. 3.



Fig. 3 - (a) Suprimimento ao Anel da Ilha do Governador; (b) Localização georreferenciada [1]

4.1 Operação dos circuitos

Na Fig. 3 observa-se que a região é densamente povoada, o que restringe as opções de expansão à circuitos subterrâneos. Nessa região verifica-se baixa viabilidade técnica em ampliar vãos nas subestações adjacentes para redistribuir o fluxo de energia. Sendo assim, com o foco na área das linhas destacadas (entre as subestações Cordovil e Brás de Pina), a melhor alternativa encontrada pela distribuidora foi reconstruir os circuitos 102 e 148 visando atender ao aumento de demanda, mantendo desta forma o paralelismo com a LTS 163 constituída por cabos com isolamento a óleo fluido (OF), cujo os parâmetros elétricos encontram-se na tabela II.

TABELA II. PARÂMETROS ELÉTRICOS LTS 163

LTS 163			
Dist. (km)	R/km	X/km	B (μ S/km)
4,5	0,024	0,216	178,1

Conforme mostra a Fig. 4, os três circuitos entre a subestação Cordovil e Brás de Pina operam energizados. Devido a uma necessidade técnica, optou-se por dividir o projeto em duas etapas, sendo a primeira a substituição parcial dos cabos a óleo por cabos XLPE num trecho de aproximadamente 1 km, onde foram utilizadas emendas de transição para fazer a conexão dos cabos com isolamento a óleo e os cabos extrudados com isolamento XLPE. A segunda etapa foi a substituição total de duas linhas por novas linhas subterrâneas compostas por cabos XLPE. Na ocasião, também foi decidido que uma das linhas continuaria com sua operação normal (LTS 163), sendo esta decisão a que mais impactou nas características elétricas dos dois novos circuitos pelo fato da necessidade de conciliar os parâmetros elétricos tão distintos dos dois tipos construtivos dos cabos.

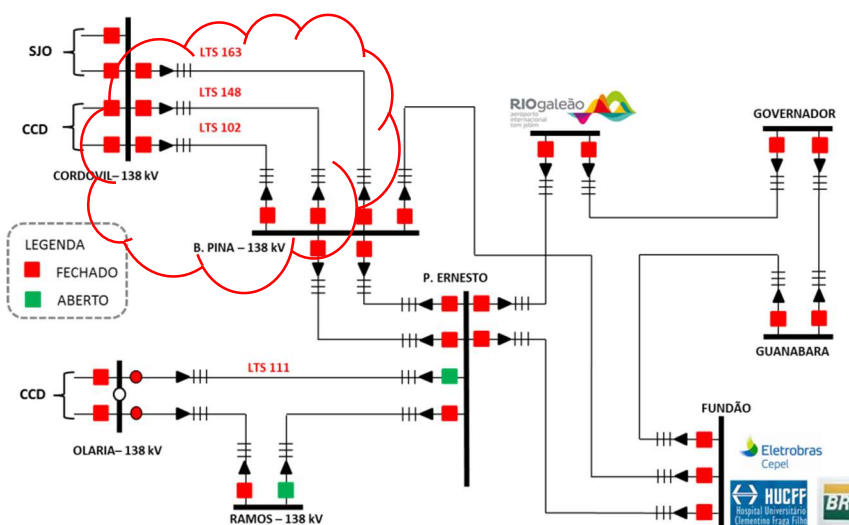


Fig. 4 - Diagrama elétrico do suprimento à região da Ilha do Governador

Através do estudo de fluxo de potência realizado pela área de Planejamento do Sistema Elétrico da Concessionária, verificou-se que devido ao paralelismo com circuito de cabo à óleo, nos casos de contingência simples (N-1) as novas linhas subterrâneas deveriam apresentar uma determinada impedância, a fim de equilibrar o fluxo com a LTS que não sofrerá intervenção.

Por causa do paralelismo entre diferentes tecnologias de cabos subterrâneos, frente contingência simples, foi verificado que o cálculo do dimensionamento dos cabos XLPE para estes circuitos, visando atender às características pré-definidas nos estudos feitos, resultou em uma seção de condutor acima daquela necessária, caso avaliasse apenas os critérios térmicos, ambientais e de instalação que tangem o dimensionamento destes cabos praticados por normas.

4.2 Cálculo dos novos parâmetros elétricos

Para o correto dimensionamento dos novos circuitos, foram realizados estudos visando identificar os melhores parâmetros para a substituição dessas duas linhas subterrâneas.

Como referência, foram substituídos os atuais parâmetros dos cabos isolados a óleo pelos parâmetros do cabo subterrâneo XLPE de maior capacidade existente no sistema 138 kV da Concessionária.

Primeiramente, na simulação, foi verificado que estes parâmetros não atendem à contingência simples (N-1), pelo fato de ocorrer sobrecarga na linha remanescente acima da capacidade de emergência (150MVA), descrita na TABELA I.

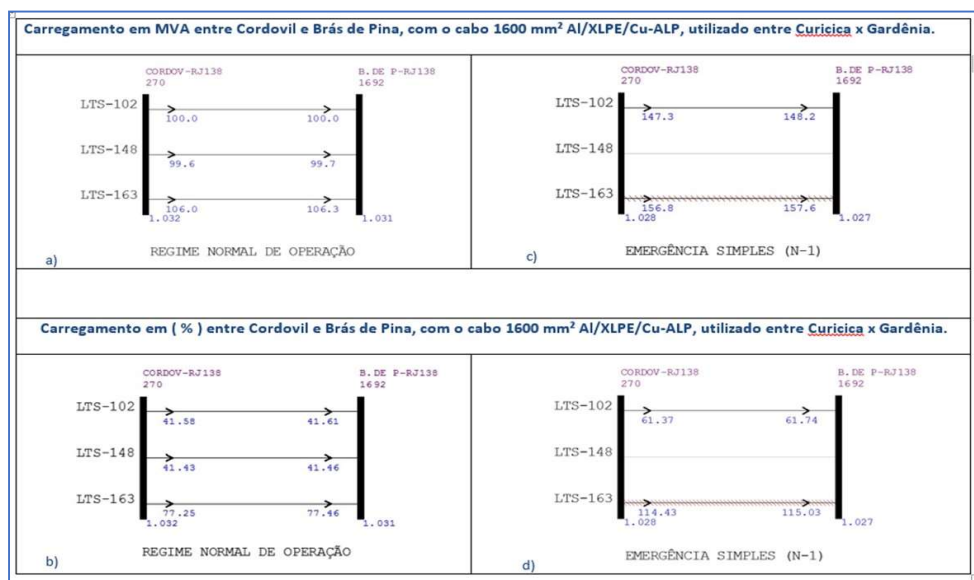


Fig. 5 - Análise de Fluxo de Potência: consideração parâmetro do cabo referência

O segundo passo do estudo consistiu em realizar redução percentual dos parâmetros do cabo de referência. Nas reduções percentuais, verificou-se que a partir de 25% de redução dos parâmetros do cabo referenciado, obteve-se resultados satisfatórios, para condições de contingência simples (N-1), cujos valores foram considerados como parâmetro mínimo exigido para os novos circuitos.

TABELA III PARÂMETROS MÍNIMOS ACEITÁVEL

LTS-102 e LTS-148			
Dist.(Km)	R/km	X/km	B (μS/km)
4,9	0,0213	0,1649	72,525

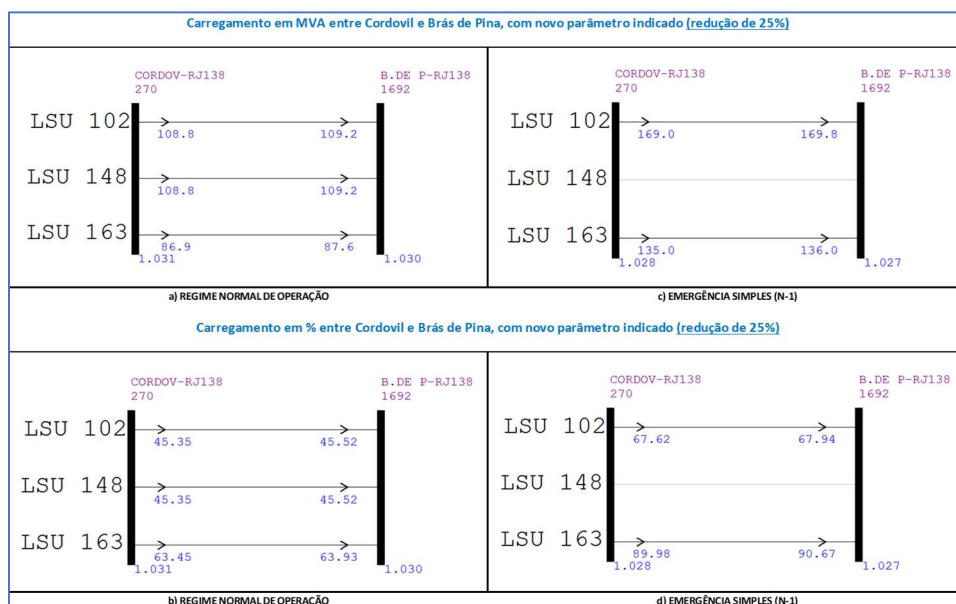


Fig. 6 - Análise de Fluxo de Potência: consideração parâmetro mínimo aceitáveis do cabo referência

O terceiro passo do estudo foi realizar a otimização do parâmetro a ser exigido para os novos circuitos subterrâneos. A condição em que ocorreu proximidade aos valores de carregamento entre os novos circuitos e o antigo isolado a óleo foi quando reduziu-se a 40% os parâmetros do cabo de referência.

Os parâmetros que darão maior confiabilidade e durabilidade a este empreendimento, a saber, que carece de elevado investimento são os seguintes:

TABELA IV. PARÂMETROS IDEIAIS PARA OS NOVOS CIRCUITOS

LTS-102 e LTS-148			
Dist.(Km)	R/km	X/km	B (μS/km)
4,9	0,0170	0,1319	58,020

Devido à importância destas linhas no sistema da Concessionária, algumas medidas de proteção foram instaladas, como a identificação do posicionamento das linhas através de marcadores eletrônicos enterrados, os quais irão georreferenciar e identificar precisamente os ativos da LTS e eventuais interferências sobre eles, comissionamento através de aplicação de tensão com fonte independente e monitoramento de descargas parciais ao longo dos circuitos e em todos os acessórios instalados.

TABELA V. DADOS DOS NOVOS CIRCUITOS

LTS	200 / 201
CONDUTOR	2000mm ² - Al - XLPE
CAPACIDADE NORMAL	242 MVA
CAPACIDADE EM EMERGÊNCIA	389 MVA
TIPO DE ATERRAMENTO	CROSS-BONDING

5.0 SISTEMA DE ATERRAMENTO

As linhas subterrâneas de alta tensão do sistema Light possuem em média extensão superior a 1500 metros, a fim de reduzir perdas e otimizar o dimensionamento dos cabos condutores, utilizamos sistema de aterramento "cross-bonding".

5.1 Instalação da 1ª fase de implantação da obra

Na 1ª fase de implantação foram substituídos aproximadamente 1km de cabos à óleo de 1(um) dos circuitos que interligam às subestações Cordovil – Brás de Pina, conforme mostra a Fig. 7.

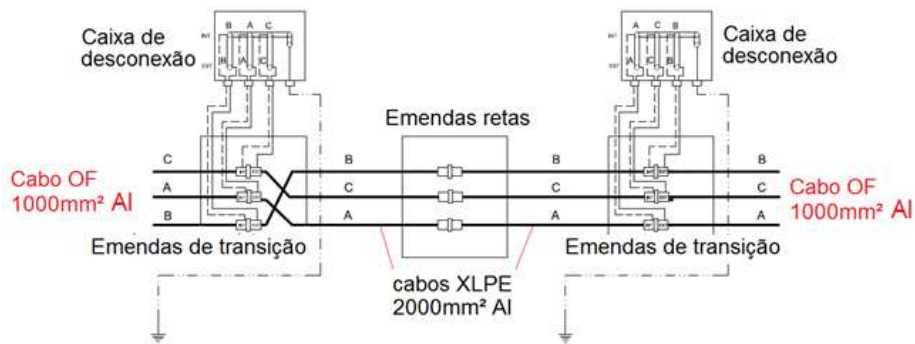


Fig. 7 – Instalação de cabos XLPE da 1ª Etapa da obra

O circuito hidráulico dos cabos à óleo foi adaptado para a nova condição de pressão e arranjo das emendas de transição. Com relação aos testes de comissionamento, a isolamento dos cabos foi testada com 106kV durante 1 hora. Já o teste de capa externa dos cabos foi realizado com aplicação de tensão contínua de 10kV durante 1 minuto. Os cabos concêntricos que interligam as emendas de transição à caixa de desconexão, possibilitaram o teste de capa externa dos cabos XLPE separadamente dos cabos à óleo.

5.2 Instalação da 2ª fase de implantação da obra

Na 2ª fase de implantação, foi instalado um novo circuito com cabos XLPE em substituição a 1(um) dos circuitos remanescentes da interligação entre as subestações Cordovil – Brás de Pina. Além disso, o circuito da 1ª fase de implantação foi constituído integralmente de cabos isolados em XLPE.

A Fig. 8 representa a configuração final dos 2 (dois) novos circuitos de interligação entre as subestações Cordovil – Brás de Pina.

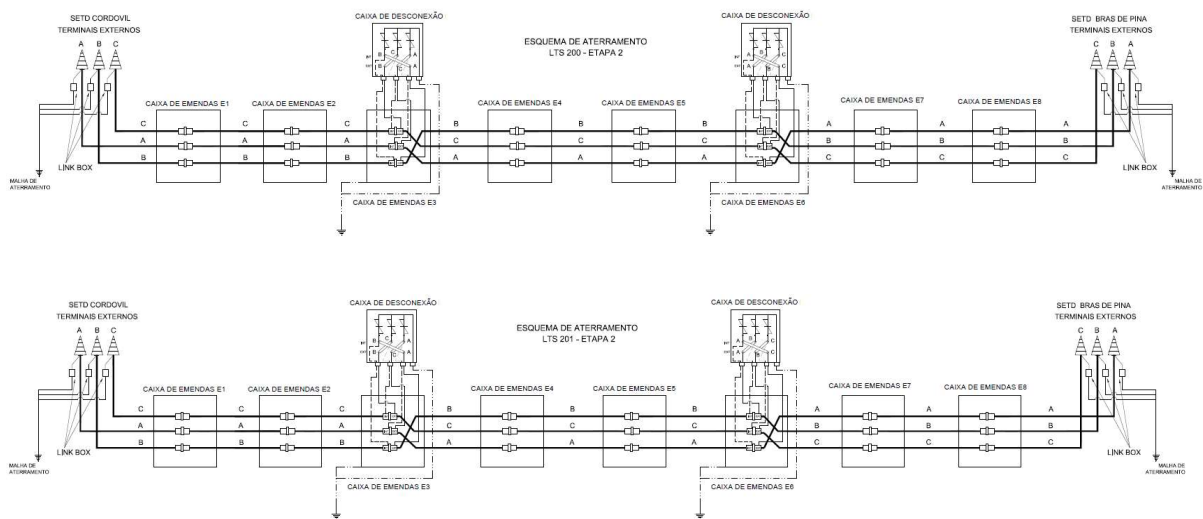


Fig. 8 – Configuração final da instalação dos dois circuitos da 2ª fase de implantação do projeto

6.0 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados estudos realizados para o dimensionamento de 2 circuitos 138 kV levando-se em consideração o paralelismo entre diferentes tecnologias de cabos subterrâneos, demonstrando que para o transporte da potência requerida, cabos isolados são normalmente dimensionados levando-se em consideração os aspectos térmicos de seus componentes, as condições ambientais (temperatura do solo, resistividade térmica do solo, etc) e as condições de instalação (disposição dos cabos, tipo de aterramento, etc), entretanto, devido ao paralelismo elétrico entre os cabos de diferentes tecnologias, onde os cabos com isolamento a óleo fluido (OF) apresentam maior susceptância e capacitância, foi necessário levar em consideração este novo aspecto, os parâmetros elétricos dos dois tipos de tecnologia de cabos condutores, em principal para casos de contingências


simples (N-1), sendo este um fato determinante para que não fosse tomada uma escolha incorreta de parâmetros e dimensionamento do novo cabo a ser instalado.

Entendemos que a divulgação deste trabalho será relevante para projetos de linhas subterrâneas futuras, pois alerta para um novo critério de dimensionamento dos cabos isolados, o qual envolve a malha do sistema e o paralelismo com linhas existentes de cabos à óleo.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PONTES, C. E. V.; LIMA, A. P. O.; SOUSA, R. S.; CARVALHO, J. E. S.; SOARES, D. M.; Mattos, F. C. Aumento da Resiliência do Sistema de Distribuição da Light para Atender os Jogos Olímpicos 2016. XXIII SNPTEE Foz do Iguaçu, PR. Outubro de 2015.
- (2) WORKING GROUP B1.21, "Test Procedures for HV Transition Joints for Rated Voltages 30kV up to 500kV", brochura técnica 415, pp. 15-17, Junho 2010.

8.0 DADOS BIOGRÁFICOS

	<ul style="list-style-type: none"> - FABIO JUNIOR NEVES - Nascido em Itaperuna, RJ, em 06 de março de 1978; - Graduação em Engenharia elétrica pela Universidade Veiga de Almeida – 2010; - Pós-graduação MBA em Gestão Estratégica da Produção e Manutenção pela Universidade Federal Fluminense (UFF) – 2013; - Coautor do artigo sobre: "Implantação das linhas de interligação aéreas em 138kV entre as subestações Jacarepaguá e Curicica – Um desafio Olímpico, um compromisso Light com o meio ambiente"; - Atuação na Manutenção, Projeto e Construção de Alta Tensão no período de 1998 a 2021 na LIGHT Serviços de Eletricidade S.A. Atualmente Diretor de Engenharia na empresa L&M Carvalho Consultoria e Engenharia de Transmissão LTDA.
	<ul style="list-style-type: none"> - DEBORA MICRONI SOARES - Nascida em Contagem, MG, em 06 de agosto de 1986. - Estudante de mestrado PEE - UFRJ, Pós-Graduação em Gestão Financeira e Controladoria Estácio (2018), Pós-Graduação em Gerenciamento de Projetos UCP/FUNCEFET (2015), Especialização em de Sistemas Elétricos de Distribuição - COPPE/UFRJ (2014) e Graduação CEFET-MG (2010) em Engenharia Industrial Elétrica ênfase em Sistemas de Potência. Empresa: LIGHT, desde 2011. Engenheira de Campo PL
	<ul style="list-style-type: none"> - ALINE PONTES DE OLIVEIRA DE LIMA - Nascida no Rio de Janeiro, RJ, em 10 de junho de 1984. - Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Sistemas de Energia – Unyleya (2020), Pós-Graduação em Big Data - Ciência de Dados - Unyleya (2019), e Graduação na UERJ-RJ em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Potência (2012). Empresa: LIGHT, desde 2012. Engenheira de Campo
	<ul style="list-style-type: none"> - LENNON ALMEIDA RODRIGUES - Nascido no Rio de Janeiro em 12/03/1990 - Experiência de 9 anos atuando em obras de alta tensão. Atualmente atuando como engenheiro de campo gestor de contratos de obras de linhas de transmissão e subestações 138kv.
	<ul style="list-style-type: none"> - JULIO CESAR DA COSTA MARINS - Graduado em Engenharia Elétrica, com a formação em 2008 pela Universidade Veiga de Almeida UVA - RJ; Pós na Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho, com formação em 2018 pela Universidade Federal Fluminense UFF - RJ. Atualmente Engenheiro de Construção e Projetos de Linhas de Transmissão Aérea e Subterrânea 138kV na LIGHT SESA.

	<ul style="list-style-type: none"> - Fábio Gabriel de Oliveira nasceu em São Paulo em 1979. - Graduado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, em 2004. Possui mestrado em Engenharia elétrica pela Escola Politécnica da USP, São Paulo, em 2010. Trabalha desde 2001 na Prysmian atuando em projetos de instalação de cabos de alta tensão. Atualmente é engenheiro sênior de sistema alta tensão.
	<ul style="list-style-type: none"> - WOONG JIN LEE, nasceu em Seul, Coréia do Sul, em 1972. - Graduado em Engenharia Elétrica (mod. eletrotécnica) pela Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, em 1993. Possui MBA em Administração de Projetos e MBA em Conhecimento, Tecnologia e Inovação ambos pela Fundação Instituto de Administração, São Paulo, em 2001 e 2003, respectivamente. Trabalha desde 1997 na Pirelli Cabos / Prysmian onde atuou nos projetos de instalação de linhas de transmissão aérea e OPGW, sistemas de cabos isolados de alta tensão e, também, na área de pesquisa e desenvolvimento. Atualmente é gerente de engenharia de sistemas de alta tensão LATAM da Prysmian.
	<p>GABRIEL LIMA DE OLIVEIRA CORREA</p> <ul style="list-style-type: none"> - 25 anos, estudante de Engenharia Elétrica e Eletrotécnico. - Em 2019 fui estagiário da Light Serviços de Eletricidade SESA, onde atuei na área de Construção de Linhas de Transmissão Aérea e Subterrânea. - Atualmente estagiário no setor de Geração Centralizada Fotovoltaica na Elecnor.