



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

CB/GLT/32

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHA DE TRANSMISSÃO - GLT**

**DESENVOLVIMENTO DE NOVO CONCEITO DE EMENDAS E TERMINAIS PARA COMPOSIÇÃO DE ESTOQUE DE ACESSÓRIOS PARA LINHAS SUBTERRÂNEAS DE ALTA TENSÃO DA AES ELETROPAULO**

**Paulo Deus de Souza (\*)  
AES ELETROPAULO**

**Alex Rivolta  
AES ELETROPAULO**

**RESUMO**

Este trabalho trata em linhas gerais sobre o novo conceito de emendas e terminais para cabos subterrâneos de Alta Tensão com isolamento em EPR ou XLPE padronizados na AES Eletropaulo em meados de 2015.

Este novo conceito prevê que um mesmo acessório, seja ele emenda ou terminal possa ser utilizado em cabos extrudados com diferentes seções, respeitando sempre os limites máximos e mínimos de expansão dos corpos isolantes e os ranges de aplicação dos conectores elétricos. Para se definir os ranges de aplicação de cada acessório é necessário fazer uma análise criteriosa das fichas de dados técnicos dos cabos face as fichas de dados técnicos dos acessórios fornecidos pelos fabricantes, garantindo que todas as medidas sejam compatíveis e permitam que o acessório seja aplicado respeitando todos os seus limites e conseqüentemente garantindo seu perfeito funcionamento em campo.

Os acessórios especiais tem um custo de cerca de 15% maior que os convencionais, porém em função da diminuição do número de itens em estoque esse valor é facilmente compensado garantido uma economia significativa no custo da reserva estratégica do segmento de Linhas Subterrâneas de Alta Tensão.

**PALAVRAS-CHAVE**

Linhas Subterrâneas, Emendas, Terminais, Alta Tensão, Estoque

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Um dos grandes desafios das concessionárias de distribuição de energia elétrica é manter uma reserva estratégica de itens fundamentais à sua operação para atendimentos emergenciais na sua rede, sem onerar de forma muito agressiva as finanças da mesma e garantindo que em casos emergenciais a reserva estratégica seja adequada para tal atendimento.

Quando tratamos de reserva estratégica para Linhas Subterrâneas de Alta Tensão (88/145 kV) a questão se agrava ainda mais já que os custos envolvidos são bastante expressivos, o número de itens é muito variado e a taxa de falhas é baixa, o que dificulta chegar à uma reserva estratégica que atenda tanto à necessidade do ponto de vista operacional quanto do ponto de vista financeiro.

Este trabalho desenvolvido frente a necessidade da AES Eletropaulo, visa encontrar uma maneira mais racional de montar uma reserva estratégica no que tange acessórios (emendas e terminais) para cabos subterrâneos de Alta Tensão extrudados, ou seja, com isolamento em EPR ou XLPE, fazendo com que, um mesmo acessório possa ser utilizado em cabos com seções diferentes, o que não é possível nos acessórios convencionais.

## 2.0 - DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Dimensionamento do estoque estratégico

É dever de toda concessionária de energia elétrica, garantir um rápido reestabelecimento de suas redes, e em função disto, as mesmas devem possuir em seus estoques, itens que sejam essenciais para este pronto reestabelecimento, como, transformadores, disjuntores, cabos, acessórios, etc. Diante disto, um dos grandes desafios das concessionárias que possuem Linhas Subterrâneas de Alta Tensão (LTS's) entre seus ativos, é manter um estoque de cabos e acessórios (emendas, terminais, etc) para atendimentos corretivos emergenciais, pois estes itens possuem um tempo de fornecimento extremamente alto, o que em geral varia entre 120 e 180 dias dependendo do tipo de material, além disto, possuem um custo bastante elevado.

Diante da complexidade do cenário acima, em 2014 a AES Eletropaulo elaborou um critério de dimensionamento do estoque estratégico para cabos e acessórios para LTS's (ID-7.029, capa demonstrada na Figura 1), onde foram definidas entre outras coisas a quantidade mínima de cada item que deveria ser mantida em estoque. Com relação à LTS's com cabos extrudados definiu-se que deveria se manter no mínimo seis unidades de emendas e três unidades de terminais de cada seção, o que no final representaria um total de quarenta e duas emendas e vinte e um terminais em estoque, considerando as sete diferentes seções de cabos que compõe a rede de subtransmissão subterrânea da AES Eletropaulo, o que com certeza teria um custo muito elevado e um impacto muito alto no orçamento da empresa. Estas quantidades foram definidas utilizando a premissa de possuir acessórios suficientes em estoque para realizar o reparo de um circuito de três fases por completo, pois mesmo que dois circuitos sejam avariados, como a configuração do sistema elétrico da Subtransmissão da AES Eletropaulo, trabalha com o fator N-1, ao se reparar um circuito é possível reestabelecer as cargas interrompidas e fazer o reparo do segundo circuito após a aquisição de novos acessórios.

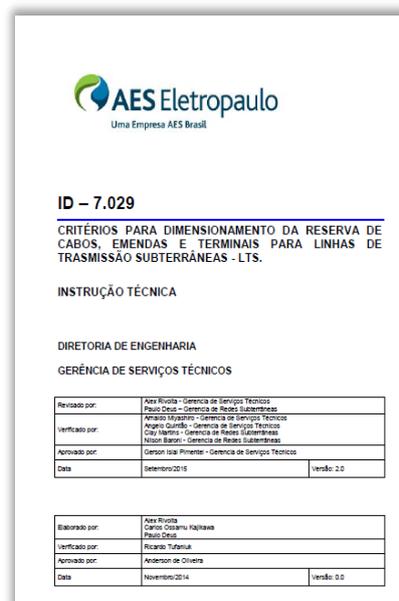


Figura 1 – Capa da Instrução Técnica que define os critérios para dimensionamento da reserva estratégica para Linhas Subterrâneas da AES Eletropaulo – Versão 2 – 2015.

### 2.2 Padronização dos novos acessórios

Definidas as quantidades mínimas a serem mantidas em estoque, a próxima etapa consistiu em padronizar e homologar os novos acessórios a serem adquiridos. Nesta ocasião iniciou-se um estudo para verificarmos alternativas onde fosse possível garantir as premissas definidas no critério de dimensionamento da reserva de cabos e acessórios, mas também diminuir o número de itens a serem adquiridos para atendimento deste critério.

A principal oportunidade de melhoria encontrada foi com relação aos acessórios para cabos LTS's com cabos extrudados (EPR/XLPE), onde começamos a estudar a possibilidade de alterar um padrão adotado no mercado que é o de se fornecer acessórios exclusivos para cada diferente bitola de cabo.

O padrão para fornecimento de acessórios para Linhas Subterrâneas de Alta Tensão com cabos extrudados consiste no fornecimento de acessórios dimensionados exclusivamente para cada bitola de cabo, ou seja, para uma LTS com cabos de 300mm<sup>2</sup> deverão ser adquiridos acessórios de 300mm<sup>2</sup>, isto significa dizer que para atendermos o critério de dimensionamento da reserva, seriam necessárias seis emendas e três terminais de 300mm<sup>2</sup> para atender somente as LTS's com cabos desta bitola. Conforme citado anteriormente, na rede subterrânea de Alta Tensão da AES Eletropaulo temos sete diferentes bitolas de cabos extrudados, o que representa um número muito alto de acessórios de alto custo a serem mantidos em estoque sem previsão de uso já que os mesmos só seriam usados em casos emergenciais, o que não é uma situação comum neste segmento, onde a taxa de falhas é consideravelmente baixa.

Diante deste cenário definimos que deveríamos elaborar um trabalho que visasse encontrar uma forma de homologar acessórios que pudessem atender a mais de uma bitola de cabo. Depois de diversas análises dos acessórios disponíveis no mercado e também dos cabos existentes na nossa rede, constatamos que em alguns casos a diferença de diâmetros entre os cabos é muito pequena e para nossa surpresa constatamos também que em alguns casos os acessórios de diferentes bitolas são basicamente iguais, variando poucos componentes, como conectores, por exemplo, porém o corpo isolante que é o principal componente de um acessório é igual, pois o range de aplicação dos mesmos é capaz de atender as pequenas variações de diâmetros de alguns cabos.

Após estas constatações definimos que focaríamos nosso estudo em encontrar soluções que viessem a viabilizar a padronização de acessórios que pudessem ser mais flexíveis que os tradicionais, permitindo assim atender o critério de dimensionamento com um número bem menor de itens em estoque.

Esta foi a etapa mais complexa do trabalho, pois foi neste estágio que todas as análises de engenharia tiveram que ser feitas para possibilitar especificar acessórios que viessem a atender a nossa necessidade sem perder a qualidade e segurança de um acessório padrão ofertado pelos fabricantes dos mesmos.

Primeiramente fizemos o levantamento de todas as fichas de dados técnicos dos cabos extrudados de Alta Tensão da AES Eletropaulo, onde, conforme citado anteriormente verificamos que diversos cabos possuem dimensionais muito parecidos uns com os outros, o que já nos levou a acreditar que seria possível termos sucesso nesse projeto. Isto feito, entramos em contato com cinco fornecedores de acessórios de Alta Tensão Subterrâneos e expusemos nossa necessidade e nossa intenção com esse novo projeto e enviamos aos mesmos as fichas de dados técnicos dos nossos cabos, para que os mesmos pudessem analisar a possibilidade de nos atender de forma mais otimizada.

Após a análise dos fornecedores, os mesmos nos enviaram suas propostas técnicas com os ranges de aplicação de cada um dos seus acessórios, conforme demonstrado na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Ranges ofertados pelos fornecedores

Bitolas de cabos extrudados (EPR/XLPE) da AES Eletropaulo	Diâmetro sobre isolamento	Fornecedor A		Fornecedor B		Fornecedor C		Fornecedor D		Fornecedor E	
		Ø Mín	Ø Máx	Ø Mín	Ø Máx	Ø Mín	Ø Máx	Ø Mín	Ø Máx	Ø Mín	Ø Máx
300 mm <sup>2</sup>	59 mm	52 mm	65 mm	57 mm	67 mm	43 mm	67 mm	Não apresentou proposta com a mesma filosofia, pois possui uma linha de acessórios especial para este tipo de necessidade.	Não apresentou proposta, pois sua estratégia de negócios na ocasião não focava o mercado de Alta Tensão no Brasil.		
400 mm <sup>2</sup>	59,5 mm										
500 mm <sup>2</sup>	64,04 mm	70 mm	87 mm	67 mm	93,7 mm	67 mm	84 mm				
800 mm <sup>2</sup>	68,56 mm										
1200 mm <sup>2</sup>	76,40 mm										
1200 mm <sup>2</sup>	82,60 mm	82 mm	102 mm	Não ofertado		84 mm	105 mm				
1600 mm <sup>2</sup>	91 mm										
1600 mm <sup>2</sup>	89,2 mm										
1600 mm <sup>2</sup>	91,7 mm										
2000 mm <sup>2</sup>	96,5 mm										

Esta tabela mostra apenas os ranges de aplicação com relação ao diâmetro externo sobre a isolamento, porém outros fatores também necessitam ser levados em consideração, como por exemplo, o range de aplicação dos conectores elétricos e diâmetro externos dos conectores elétricos.

Analisando todos os fatores chegamos à definição de que apenas os fornecedores A e C da Tabela 1 poderiam nos atender como o esperado, pois estes dois fornecedores conseguiriam fornecer apenas três conjuntos de acessórios que atenderiam todas as bitolas de cabos da AES Eletropaulo.

Dos cinco fornecedores consultados, dois não apresentaram propostas que atendessem a necessidade deste projeto. Um deles informou que sua estratégia de mercado na ocasião não contemplava o segmento de Alta Tensão no Brasil, logo, não havia o interesse em participar. Outro fornecedor informou que sua linha de produtos já

oferece acessórios para atender a necessidade de diminuição de estoque, porém na opção oferecida por ele, é possível se reduzir o número de cabos em estoque e não o número de acessórios, já que os acessórios permitem que sejam emendados dois cabos de diferentes bitolas, sendo assim, você pode manter em estoque apenas uma ou duas bitolas de cabos, mas obrigatoriamente terá que adquirir diferentes emendas para serem utilizados nas diferentes bitolas de cabos instalados na rede. Esta opção não foi aprovada pela AES Eletropaulo neste projeto, pois atualmente nós já possuímos diversas bobinas de diferentes bitolas de cabos em estoque, logo, para nós seria mais interessante diminuir o número de acessórios e não de cabos.

O fornecedor B embora apresentasse uma boa solução para quase todos os itens, exceção apenas aos cabos de 2000mm<sup>2</sup>, nos ofertou todos os itens com a solução de contrátil à frio, pré-expandido em fábrica, o que para ser deixado em estoque se torna um problema pois o prazo máximo que o acessório pode permanecer em estoque é de 18 meses. Isto inviabilizou o fornecedor B, pois como a AES Eletropaulo não tem previsão de utilização dos acessórios em estoque, um prazo de validade, faz com que se corra o risco de após 18 meses, todos os acessórios terem que ser descartados sem terem sido utilizados, já que pode não ter havido nenhuma falha/ocorrência neste período.

Diante deste fato, ficou definido que seria padronizados para o estoque estratégico, apenas acessórios com a tecnologia contrátil à frio, com expansão em campo, ou deslizante, onde não há prazo de validade para a utilização dos corpos isolantes. Os fornecedores A, C e D atendiam esta característica.

Outro ponto definido no que se refere à padronização dos acessórios, foi a questão das emendas serem ou não seccionadas. Como a rede de Alta Tensão Subterrânea da AES Eletropaulo possui diversas Linhas com sistema de aterramento tipo Cross Bonding, temos diversas emendas do tipo seccionada instaladas na rede, porém é sabido que em casos onde os cabos sofrem algum tipo de avaria, como por exemplo, quando são avariados por obras de terceiros, as emendas utilizadas nos reparos não podem ser seccionadas, pois nesses casos é necessário que haja a continuidade da blindagem, logo, poderia se imaginar em manter em estoque apenas emendas retas (não seccionadas), porém o estoque estratégico deve prever além da situação citada acima, também os casos onde as emendas seccionadas instaladas na rede venham a falhar. Nestes casos uma emenda reta não poderia ser utilizada no lugar de uma emenda seccionada avariada. Diante deste cenário e na intenção de diminuir os itens em estoque a AES Eletropaulo padronizou que em seu estoque seriam adquiridas a partir de então, somente emendas seccionadas, pois estas poderão ser utilizadas em qualquer tipo de ocorrência que venha a ocorrer em nossa rede, já que a mesma pode ser utilizada como uma emenda reta, apenas fazendo-se a interligação das blindagens com a utilização de um cabo condutor compatível com a secção da blindagem e com a corrente de curto calculada para o sistema.

### 2.3 Principais benefícios

Após a análise dos acessórios ofertados pelos fabricantes, ficaram definidas as características construtivas e os ranges de aplicação dos acessórios que atenderiam a este novo conceito de emendas e terminais de alta tensão subterrânea para composição do estoque estratégico da AES Eletropaulo. Como podemos verificar na tabela 2, o número de tipos de emendas em estoque caiu de quatorze para apenas três tipos, e o número de tipos de terminais passou de sete para três.

Tabela 2 – Comparação entre o conceito tradicional de acessórios e o novo conceito, em relação à tipos e quantidades no estoque da AES Eletropaulo

BITOLAS DE CABOS	CONCEITO TRADICIONAL		NOVO CONCEITO	
	CABO 300 mm <sup>2</sup>	EMENDA RETA 300 mm <sup>2</sup>	TERMINAL 300 mm <sup>2</sup>	EMENDA SECCIONADA 300 - 500 mm <sup>2</sup>
	EMENDA SECCIONADA 300 mm <sup>2</sup>			
CABO 400 mm <sup>2</sup>	EMENDA RETA 400 mm <sup>2</sup>	TERMINAL 400 mm <sup>2</sup>	EMENDA SECCIONADA 800 - 1200 mm <sup>2</sup>	TERMINAL 800 - 1200 mm <sup>2</sup>
	EMENDA SECCIONADA 400 mm <sup>2</sup>			
CABO 500 mm <sup>2</sup>	EMENDA RETA 500 mm <sup>2</sup>	TERMINAL 500 mm <sup>2</sup>	EMENDA SECCIONADA 1600 - 2000 mm <sup>2</sup>	TERMINAL 1600 - 2000 mm <sup>2</sup>
	EMENDA SECCIONADA 500 mm <sup>2</sup>			
CABO 800 mm <sup>2</sup>	EMENDA RETA 800 mm <sup>2</sup>	TERMINAL 800 mm <sup>2</sup>		
	EMENDA SECCIONADA 800 mm <sup>2</sup>			
CABO 1200 mm <sup>2</sup>	EMENDA RETA 1200 mm <sup>2</sup>	TERMINAL 1200 mm <sup>2</sup>		
	EMENDA SECCIONADA 1200 mm <sup>2</sup>			
CABO 1600 mm <sup>2</sup>	EMENDA RETA 1600 mm <sup>2</sup>	TERMINAL 1600 mm <sup>2</sup>		
	EMENDA SECCIONADA 1600 mm <sup>2</sup>			
CABO 2000 mm <sup>2</sup>	EMENDA RETA 2000 mm <sup>2</sup>	TERMINAL 2000 mm <sup>2</sup>		
	EMENDA SECCIONADA 2000 mm <sup>2</sup>			
<b>TOTAL</b>	<b>42 EMENDAS</b>	<b>21 TERMINAIS</b>	<b>18 EMENDAS</b>	<b>9 TERMINAIS</b>

Na Tabela 2 é possível verificar também a redução significativa do número de acessórios necessários em estoque para se garantir os 100% de confiabilidade, onde antes seriam necessárias quarenta e duas emendas, agora

passam a ser necessárias apenas dezoito, e onde seriam necessários vinte e um terminais, agora são necessários apenas nove.

Os números acima mostram que se obteve uma redução na ordem de 57% no número de acessórios mantidos em estoque, esse número indica que haverá também uma redução expressiva no custo do estoque da AES Eletropaulo, mas antes de entrarmos nesta questão vamos ressaltar que esta redução significa também uma gestão mais simples e mais fácil de todo o estoque.

Outro ponto importante a ser levado em consideração é a questão relacionada à redução do espaço físico necessário para o armazenamento de todos estes itens. Manter um estoque estratégico para todos os segmentos de uma concessionária como a AES Eletropaulo significa ter que dispor de uma enorme área de armazenagem para todos estes itens. Como estamos falando de uma redução de 57% no número de itens em estoque, deduzimos então que vá ocorrer também a redução de ocupação na mesma ordem de grandeza (cerca de 57%). O que nos dias atuais é um número bastante importante devido à restrição de espaços disponíveis para tal finalidade.

Com relação a custos, é possível imaginar que também houve uma grande diminuição de valores para aquisição e de impacto orçamentário do estoque estratégico da empresa no segmento de Linhas Subterrâneas de Alta Tensão. Segundo os cálculos que fizemos, o custo de aquisição destes acessórios significou uma redução de 49% se comparado a acessórios tradicionais. Esse número é bastante expressivo, ainda mais se levado em consideração o alto custo dos acessórios deste tipo.

Em tratativas com os fornecedores, chegamos à definição que os acessórios customizados custam algo em torno de 15% a mais que os acessórios tradicionais, já que estes, para poder atender à mais de uma bitola de cabos, precisam sofrer algumas adaptações, como por exemplo, serem fornecidos com dois ou até mesmo três conectores elétricos, ou com dois ou mais cones de alívio, nos casos de terminais. Essa customização provocou esse aumento na ordem de 15% no custo dos acessórios, porém com a diminuição expressiva do número de itens (57%) fez com que a economia no custo de aquisição de todos os acessórios para cabos extrudados fosse de cerca de 49%. Essa porcentagem foi calculada, baseando-se no custo padrão de um acessório, frente ao custo real pago nestes acessórios customizados adquiridos pela AES Eletropaulo.

Considerando-se o alto custo de cada acessório, uma redução de 49% no valor desta aquisição e de impacto no custo do estoque da empresa é um número bastante expressivo e bastante comemorado, já que mostra que o trabalho surtiu um efeito positivo, pois conseguimos garantir os 100% de confiabilidade ao nosso sistema, com um impacto financeiro 49% menor do que o esperado.

### 3.0 - CONCLUSÃO

Após o término do projeto e principalmente após a apuração dos resultados finais, chegamos à conclusão que o resultado deste trabalho foi altamente satisfatório, pois com a definição de apenas três ranges de aplicação para sete tipos diferentes de cabos extrudados, pudemos reduzir significativamente a necessidade de aquisição de emendas de quarenta e duas para dezoito unidades e de terminais de vinte e um para doze unidades sem perder os 100% de confiabilidade e abrangência do nosso estoque. Esta mudança de conceito na padronização representou uma redução de 49% no custo destas aquisições e de 57% no espaço físico necessário para armazenagem dos mesmos. Outro ponto importante a se levar em consideração é o longo período que estes materiais permanecem no estoque, já que a taxa de falhas deste segmento é consideravelmente baixa, o que torna o impacto no custo do estoque da empresa muito expressivo, logo uma diminuição deste custo em 49% foi um resultado bastante importante para as contas da empresa.

Na ocasião dos ensaios de rotina, quando das inspeções de recebimento destes acessórios, este novo conceito foi elogiado inclusive por alguns fornecedores tanto na Alemanha quanto na Suíça por trazer uma nova visão sobre composição de estoque para Linhas Subterrâneas de Alta Tensão, tornando-se uma solução viável. Os próprios fornecedores entenderam que esse novo conceito traz muitos benefícios para as concessionárias que necessitam tê-los em seus estoques.

É importante salientar que os acessórios padrões continuam homologados na AES Eletropaulo, pois os mesmos devem continuar à serem utilizados nas obras de expansão da empresa, pois como dissemos anteriormente os acessórios especiais desenvolvidos neste projeto, possuem um custo da ordem de 15% maior do que os tradicionais, o que não justifica a aplicação dos mesmos em obras de expansão, já que nestas as bitolas dos cabos já são conhecidas.

Cabe ressaltar que é de fundamental importância o trabalho de análise das fichas de dados técnicos dos cabos instalados na rede da concessionária frente aos acessórios fornecidos pelos fabricantes, pois é nesse momento que os acessórios deverão ser especificados da maneira mais eficaz possível, garantindo as condições ideais de instalação e operação, sem oferecer riscos à Linhas Subterrâneas onde serão instalados. Neste trabalho, demos

alguns exemplos de dimensionamento que se tornaram aplicáveis frente às Linhas Subterrâneas instaladas na ocasião na rede da AES Eletropaulo, porém cada concessionária deve analisar sua rede para verificar os ranges aplicáveis a esta e assim dimensionar adequadamente seus acessórios.

#### 4.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Paulo Deus de Souza**

- Nascido em São Paulo/SP em 1978
- Graduado em 2012 em Engenharia Elétrica pela Universidade Cruzeiro do Sul
- Engenheiro Eletricista de Campo formado pela Universidade Cruzeiro do Sul.

Trabalhando na AES Eletropaulo desde 1993, sendo que desde 1995 atuando com manutenção de Linhas Subterrâneas de Alta Tensão. Atualmente na Gerência de Gestão de Sistemas Subterrâneos é responsável junto a Engenharia pela especificação de materiais e acessórios de Alta Tensão Subterrânea, além de ser responsável pelas análises de falhas nas redes de Média Tensão bem como os indicadores de Qualidade da Rede Subterrânea. Devido à sua experiência em Linhas Subterrâneas de Alta Tensão, é responsável por dar suporte tanto à engenharia quanto às equipes operacionais de manutenção. Representou o Brasil no Working Group Internacional do Cigré que elaborou e publicou a Brochura Técnica nº 652 “Guide for the operation of self contained fluid filled cable systems”.



**Alex Rivolta**

- Nascido em Santo André/SP em 1979
- Graduado em 2006 em Engenharia de Produção Elétrica pela Faculdade de Engenharia Industrial e Pós Graduado em Gestão Empresarial em 2008
- Iniciou a carreira como técnico do sistema de proteção em subestações das AES Eletropaulo, depois passou pela área de gestão da subtransmissão como engenheiro, key user no projeto de implantação do SAP na manutenção, engenheiro de projetos na Subtransmissão e atualmente na área de padrões e Normas na gerencia de tecnologia da distribuição. No ano de 2016, foi certificado Black Belt com o projeto “Aumentar a Confiabilidade do Sistema Baseando na Reserva técnica estratégica para Linhas Subterrâneas”.