



Grupo de Estudo de Linhas de Transmissão-GLT

Backfill Fluidizado com Elevada Condutividade Térmica e Auto-Compactante para Sistemas Subterrâneos

**JULIO CESAR RAMOS LOPES(1)(*); WALTER PINHEIRO(1); SIMONE CRISTINA NUNES ARAÚJO(1);
GERALDO ROBERTO DE ALMEIDA(1); ROGERIO ALENCAR BIMBATO ROCHA(2); EDUARDO LEANDRO
INUCENCIO(2); PAULO DEUS DE SOUZA(2);
TAG(1); ENEL SÃO PAULO(2);**

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um backfill fluidizado, de baixa resistividade térmica, estável termicamente e friável. A baixa resistividade e a estabilidade térmica permitem otimizar o dimensionamento dos cabos e as dimensões das valas e banco de dutos. A friabilidade permite uma maior facilidade de acesso para reparo dos cabos nos pontos onde forem eventualmente danificados.

As etapas do projeto de pesquisa e desenvolvimento e os resultados alcançados são apresentados.

Os materiais básicos, os agregados de alta condutividade térmica e os aglomerantes pesquisados são mencionados.

PALAVRAS-CHAVE

Cabo de potência, Backfill fluidizado, Resistividade térmica, Backfill friável

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente as linhas subterrâneas de alta tensão instaladas em banco de dutos, construídos em vala a céu aberto são as mais econômicas. Sua construção é constituída de duas fases principais:

Fase 1 - Obra Civil: abertura de uma vala em dimensões pré-definidas no projeto; colocação de dutos para abrigar os cabos no interior da vala; aplicação e compactação de backfill em camadas; reaterro de toda a vala; e reconstituição do piso superior (asfalto e/ou passeio público),

Fase 2 - Instalação Elétrica: puxamento dos cabos dentro das tubulações; execução das emendas e dos terminais.

O projeto econômico de uma linha subterrânea deve necessariamente considerar:

- empregar condutor com seção mínima que possibilite o transporte da corrente máxima da linha levando em conta a dissipação de calor proporcionada pelo backfill;
- usar materiais (backfill) de baixa resistividade e boa estabilidade térmica e alta resistência mecânica para envolver o banco de dutos;
- buscar as dimensões ótimas do banco de dutos;
- desvincular a obra civil da instalação e lançamento do cabo.

A seção mínima do condutor depende diretamente da resistividade térmica aparente do conjunto



(terreno/backfill), sendo que a resistência térmica do backfill responde por cerca de 60% de todas as resistências térmicas envolvidas no cálculo da seção do condutor.

O emprego de materiais termicamente estabilizados e de baixa resistividade térmica como backfill em linhas de transmissão de alta tensão subterrâneas é prática usual de longa data. Ele garante o emprego de condutores de bitolas otimizadas e linhas com menor custo de implantação.

Na década de 80 teve início o desenvolvimento de backfills fluidizados de baixa resistividade e termicamente estáveis [1].

Posteriormente foram desenvolvidos concretos de condutividades extremamente altas [2].

O melhor backfill disponível no Brasil atualmente é composto por materiais oriundos de rochas vulcânicas que proporcionam resistividade térmica de 1 K.m/W a seco. Para este backfill ser utilizado como material de reaterro de cabos enterrados é necessário que essas rochas sejam convenientemente moídas com granulometria pré-especificada e misturadas entre si com teor específico de água e compactado na vala envolvendo os dutos. Este processo além de demorado e dependente de um rígido controle durante a sua execução encontra-se no seu limite de resistividade térmica.

As dimensões da vala dependem da profundidade e do espaçamento entre os cabos e determinam de modo objetivo os custos das obras civis. Dentre estes custos aquele devido ao backfill é de grande importância porque a quantidade de material envolvida e o tempo necessário à sua aplicação representam uma parcela significativa do total da obra.

Portanto para se ter um projeto econômico de uma linha subterrânea de energia elétrica, esbarra-se necessariamente na otimização dos condutores e na obra civil que passa pelos materiais que envolve os cabos (backfill).

O desenvolvimento de um backfill de menor resistividade térmica a seco e que possa ser aplicado de forma mecanizada e sem necessidade de compactação convencional através de compactadores a percussão ou placas vibratórias, são os desafios a que esse projeto de pesquisa e de desenvolvimento, inserido no programa de P&D da ANEEL, se propôs a resolver.

As características físicas do novo material de backfill desenvolvido foram determinadas no início da pesquisa em função das necessidades da ENEL São Paulo, concessionária que custeou o projeto. Foram definidas as seguintes características gerais:

- resistividade térmica igual ou inferior a 0,75 K.m/W
- material termicamente estabilizado;
- não requerer compactação para aplicação no banco de dutos;
- fluir de maneira similar ao concreto;
- prover subleito estável para pavimento de rua;
- mitigar problemas de instabilidade térmica do terreno;
- ser aplicado com auxílio de caminhões de concreto;
- ser usado em terreno plano ou montanhoso;
- ser bombeado ou derramado;
- ser friável para facilitar a manutenção corretiva dos cabos

2.0 - ETAPAS DO PROJETO DE P&D

A metodologia de pesquisa aplicada neste projeto foi composta de 4 fases inter-relacionadas, a saber:

1. desenvolvimento de estudos visando a seleção dos materiais sólidos básicos, componentes do novo backfill, para que o backfill atendessem as características de alta condutividade térmica, destacando-se as seguintes atividades de pesquisa:
 - elaboração de especificação de engenharia para a caracterização física e química dos materiais componentes do novo backfill;



- seleção dos materiais;
 - estudos de alterações nas características superficiais dos materiais selecionados para melhorar sua propriedade de condutividade térmica;
 - avaliações em laboratório para comprovar as melhores características entre os materiais selecionados e modificados versus os materiais utilizados atualmente no Brasil.
2. desenvolvimento de estudos para a seleção de aglomerados, para que o novo backfill atendesse as características de ser fluidizado e autocompactante, destacando-se as seguintes atividades de pesquisa:
- seleção dos aglomerados a serem adicionados aos materiais sólidos;
 - desenvolvimento de método de dispersão dos componentes;
 - avaliações em laboratório visando comprovar o melhor desempenho do novo backfill.
3. desenvolvimento de procedimento para uso do novo backfill em campo de prova controlado, destacando-se as seguintes atividades de pesquisa:
- procedimento para misturar os componentes do novo backfill para aplicação em campo;
 - procedimento para aplicação do novo material em campo;
 - avaliação do desempenho do novo Backfill.
4. transferência tecnológica dos produtos do projeto, destacando-se as seguintes atividades de pesquisa:
- elaboração de especificação técnica final do novo Backfill e do procedimento de uso em campo;
 - treinamento teórico e prático, a profissionais selecionados pela concessionária e para profissionais de empreiteira sobre os produtos desenvolvidos no projeto;
 - workshop técnico (palestras técnicas, apresentação de vídeos, etc.).

3.0 - SELEÇÃO DOS MATERIAIS BÁSICOS

Os aglomerados sólidos para serem utilizados como material para backfill foram inicialmente classificados pela sua densidade. Preferencialmente materiais oriundos de rochas vulcânicas com densidade $d \geq 2,5 \text{ g/cm}^3$. Entretanto, o material para backfill para ser usado é necessário ser particulado e ter fundamentalmente a textura de um agregado de concreto, como se denomina na construção civil. Por isso, quando aplicado numa trincheira de cabos a densidade conseguida é da ordem de $1,8 \leq d \leq 2,0 \text{ g/cm}^3$.

A seleção dos materiais básicos para compor o backfill considerou as seguintes premissas:

- ser oriundo de rochas vulcânicas;
- ter densidade entre 1,8 e 2,0 g/cm³;
- ser abundante nas regiões próximas onde serão empregados;
- ser de custo baixo.

Os seguintes materiais foram selecionados para estudo: granito, basalto, dolomita, hematita, magnetita, biotita.

Foram definidas duas curvas granulométricas para estes materiais. Uma baseada na curva de Talbot que apresenta um melhor adensamento do material particulado e a outra com base no material atualmente empregado como backfill na maioria dos projetos de linhas subterrâneas no Brasil, denominado Bi Modal. A designação Bi Modal é proveniente da composição granulométrica do material, onde há uma parcela predominante de finos e outra onde predominam os grossos. A Figura 1 apresenta as duas composições granulométricas.

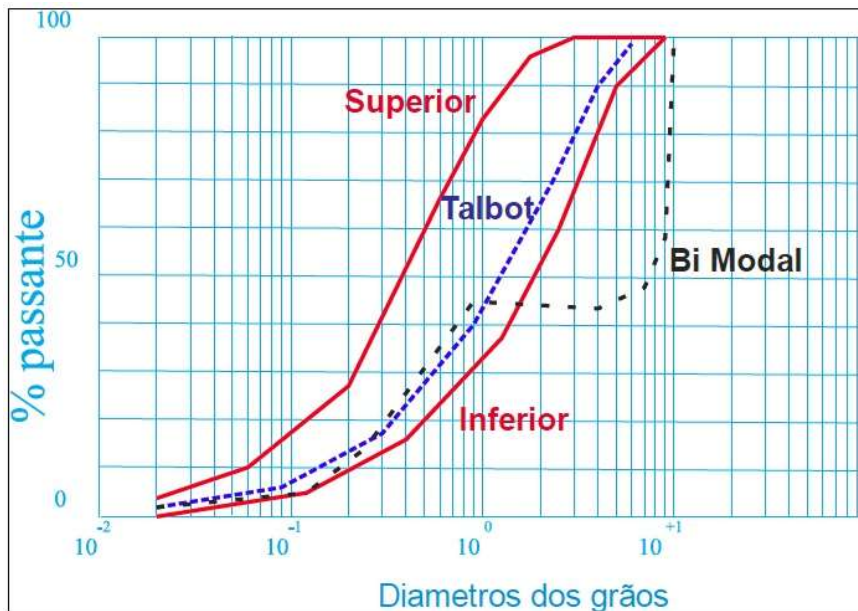


FIGURA 1 – Curvas granulométricas dos materiais básicos

Após levantamento de disponibilidade e custos a pesquisa foi realizada considerando apenas o granito e o basalto. Estes materiais apresentam aparência semelhante, conforme mostrado na Figura 2, e possuem condutividade térmica e densidade muito próximas, na faixa de 2,9 a 3,5 W/K.m e 2750 a 3000 kg/m³ respectivamente.

Foram realizados os seguintes ensaios nas amostras de materiais básicos: análise granulométrica, densidade a seco, e resistividade térmica em função da umidade.

As análises granulométricas foram executadas conforme os procedimentos da norma técnica brasileira ABNT NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica [3].

Para os ensaios de densidade a seco foi utilizada a metodologia da norma técnica brasileira ABNT NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente [4].

As medições de resistividade térmica das amostras foram feitas utilizando a norma 442-2017 - IEEE Guide for Thermal Resistivity Measurements of Soils and Backfill Materials [5].



FIGURA 2 – a) granito

b) basalto

O ensaio de resistividade térmica é o mais importante para esta pesquisa. O estudo definiu pela realização das seguintes medições: resistividade do material totalmente seco, resistividade do material totalmente saturado e resistividade do material com a umidade totalmente drenada. Com estas três medidas foi possível interpolar a resistividade do material para qualquer grau de umidade através da função de distribuição de probabilidades de Gauss. A Figura 3 apresenta a realização de um dos ensaios.



FIGURA 3 - Ensaio de resistividade térmica

Os valores obtidos de resistividades térmica das amostras saturadas encontram-se dentro dos limites previstos, comparados com os encontrados na literatura. Isto é plenamente justificado uma vez que a compactação mecânica não é requerida para as amostras com excesso de água.

Para amostras drenadas e com o material seco, os valores encontrados não estão compatíveis com a literatura e os resultados de medições em backfill com estes materiais. As diferenças encontradas deve-se à falta de compactação mecânica das amostras e ao contato deficiente entre a sonda e o material testado. Os testes iniciais porém não tinham o objetivo de comparar os valores medidos com os valores de medições anteriores e os valores de literatura. Tiveram como objetivo verificar as variações da resistividade do material com relação ao teor de umidade, comparar as diferenças de resistividade dos materiais, e ao comportamento do material no estado em que será utilizado no novo backfill.

Para aumentar a condutividade térmica do novo backfill a equipe do projeto de P&D pré-selecionou materiais de baixa resistividade térmica para adicioná-los, ou substituir parte dos materiais básicos selecionados anteriormente.

Os resultados obtidos nas medições de resistividade dos materiais básicos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resistividades térmicas dos materiais ensaiados

RESISTIVIDADE TÉRMICA EM AMOSTRAS					
Material	Umidade %	Amostra	1	2	3
			Resistividade K.m/W	Resistividade K.m/W	Resistividade K.m/W

Granito Talbot	0	1	5,79	5,62	5,30
	11	2	1,75	2,88	2,27
	33	3	0,53	0,53	0,51
Granito Bi Modal	0	1	4,21	4,52	4,72
	11	2	1,21	0,94	3,74
	33	3	0,51	0,55	0,53
Basalto Talbot	0	1	5,57	6,08	5,74
	11	2	4,17	3,65	3,78
	33	3	0,83	0,94	0,78
Basalto Bi Modal	0	1	6,09	5,92	6,37
	11	2	1,16	3,89	1,07
	33	3	0,92	0,91	0,84

Estes materiais além de boa condutividade térmica deveriam ser abundantes no país, ter baixo custo e não se degradarem ao longo da vida útil da instalação. Foram selecionados alguns óxidos que são as cerâmicas mais abundantes na crosta terrestre.

Os materiais selecionados foram: o "fly ash" que apresenta condutividade térmica da ordem de 2,5 W/m.K, a alumina que possui condutividade entre 5,0 a 30 W/m.K, o óxido de ferro com condutividade da ordem de 8,5 W/m.K e o carvão de silício com condutividade entre 50 a 100 W/m.K.

O "fly ash", ou cinzas volantes, é um produto da combustão de carvão e é composto de partículas que são expulsas de caldeiras a carvão juntamente com os gases de combustão.

Dependendo da fonte e composição do carvão queimado, os componentes da cinza volante variam consideravelmente, mas todas as cinzas volantes incluem quantidades substanciais de dióxido de silício (SiO_2) (tanto amorfo como cristalino), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de cálcio (CaO), que são os principais compostos minerais em estratos de rochas que contêm carvão.

A alumina ou óxido de alumínio é um composto químico de alumínio e oxigênio e é o principal componente da bauxita. É um excelente isolante térmico e elétrico, mas tem uma condutividade térmica relativamente alta – 30 W/m.K para um material cerâmico.

O óxido de ferro ou óxido férrico, também conhecido como hematita, óxido de ferro vermelho, ou simplesmente ferrugem, é o composto químico de fórmula Fe_2O_3 . Possui propriedades paramagnéticas.

Os óxidos de ferro são abundantes na natureza e desempenham um papel importante em muitos processos geológicos e biológicos. São amplamente utilizados como ferro metálico, pigmentos, catalisadores, hemoglobina, etc. A ferrugem comum é uma forma de óxido de ferro (III). Os óxidos de ferro são amplamente utilizados como pigmentos baratos e duráveis em tintas, revestimentos e concretos coloridos.

O carvão de silício é encontrado na natureza na forma de mineral muito raro, o moissanite. Este material é normalmente obtido sinteticamente pelo processo Acheson, que leva o nome do seu criador, o americano E.G. Acheson que o inventou em 1891. Em um forno Acheson, uma mistura de material de carbono (geralmente coque de petróleo), silício e areia de quartzo reage quimicamente em altas temperaturas que variam de 1700 a 2500°C. Material cerâmico semicondutor de alta dureza, resistência a desgaste e a agentes químicos, o carvão de silício é amplamente utilizado como abrasivo, em ferramentas de corte, peças de turbinas, discos de freios, para-raios, como componente de circuitos elétricos, dentre outros usos.

Para a composição do novo backfill, a substituição inicial, ou acréscimo ao material básico, foi feita considerando que a resistividade térmica do material final é resultante da resistividade dos materiais componentes e em princípio depende das partições de massas. Pode-se considerar que a resistividade do material final é expressa por:



$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i \frac{m_i}{M} \leq 0.75 \left[\frac{m \cdot K}{W} \right]$$

onde:

ρ = resistividade do backfill

M = massa total do backfill

m_i = massa da i ésima partição de material componente do backfill

ρ_i = resistividade térmica da i ésima partição de material componente do backfill

0,75 K.m/W é a resistividade do backfill que se quer alcançar

Com base nesta expressão matemática foram feitas as primeiras formulações do material básico e os materiais para aumento da condutividade térmica.

4.0 - SELEÇÃO DOS AGLOMERADOS

Alguns tipos de cimento devem ser utilizados para obter as características desejadas para o novo backfill de não requerer a compactação; fluir de maneira similar ao concreto e preencher todos os espaços, sem vibração; prover subleito estável para pavimento de rua; ser aplicado com auxílio de caminhões de concreto, podendo ser bombeado ou derramado.

A seleção adequada do tipo e quantidade de cimento a ser utilizado foi o objetivo desta etapa do projeto.

Com base em levantamento do estado da arte sobre os tipos de backfill, disponíveis a nível internacional, indicaram que o cimento do tipo Portland era o mais empregado em materiais semelhantes desenvolvidos anteriormente.

O tipo de cimento Portland selecionado para o desenvolvimento dos trabalhos iniciais, previstos nessa etapa da pesquisa, foi o tipo II que é recomendado pelos fabricantes e pela norma ASTM [6] para uso em estruturas expostas ao solo ou à água contendo íons sulfato, que é o caso, do seu uso no backfill desenvolvido.

Foram feitas composições do cimento com os materiais básicos e agregados finos de alta condutividade térmica definidos na etapa anterior. As proporções de cimento foram definidas empiricamente em 5%, 7,5% e 10% da massa total, com a finalidade de verificar a friabilidade do composto resultante.

Os testes de friabilidade foram executados em amostras de formato cilíndrico com dimensões de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro. O equipamento utilizado para o teste é mostrado na Figura 4.

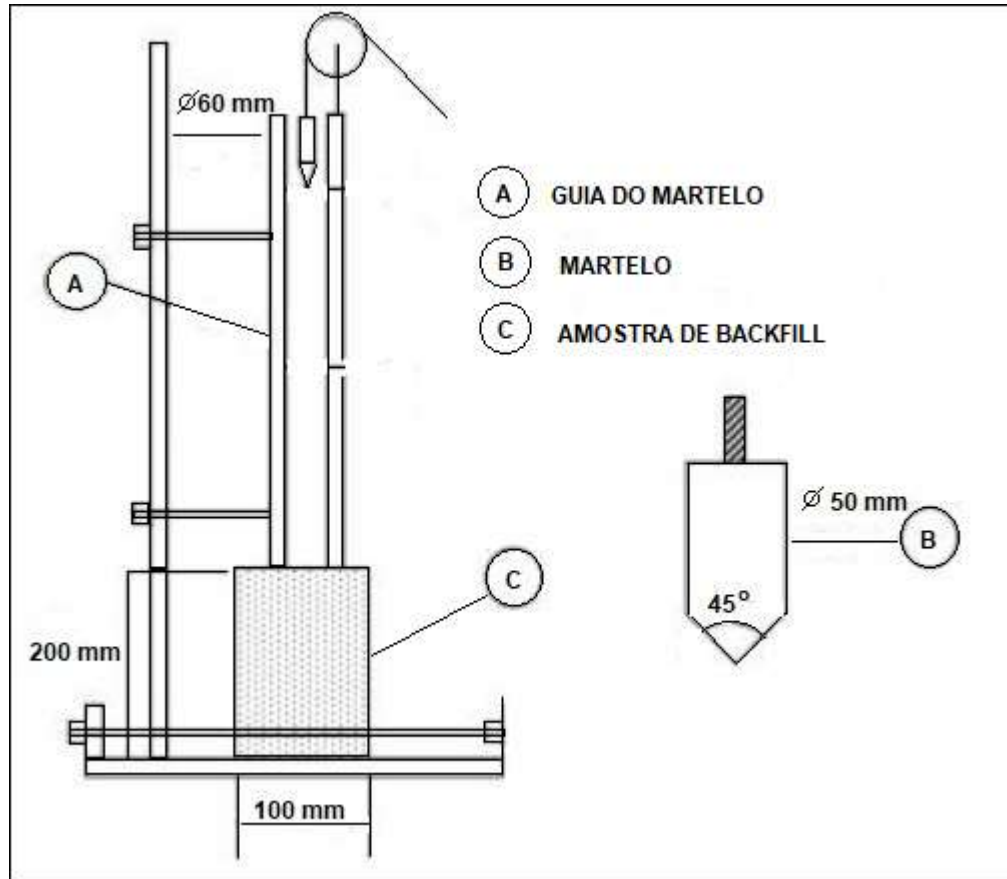


FIGURA 4 – Equipamento para teste de friabilidade

Os corpos de prova foram confeccionados com o formato e dimensões citadas acima e com o material com o cimento nas proporções pré-estabelecidas.

Os cilindros das amostras foram colocados no suporte do dispositivo da Figura 4, bem centrado e adequadamente abaixo do martelo para verificação da friabilidade. Foram eleitos 3 níveis de queda, que são associados aos níveis de energia de impacto. Foram ensaiados 4 corpos de prova para cada nível.

O ensaio consistiu em deixar cair o martelo – um peso em forma cônica – de alturas determinadas e anotou-se o número de golpes necessários para a fratura completa da amostra. A fratura é considerada completa quando parte do material se destaca da amostra. A Figura 5 mostra um teste sendo executado.



FIGURA 5 – Teste de amostra

Após a definição dos materiais básicos, dos agregados de alta condutividade térmica, do aglomerante e das proporções em que cada um deles seria adicionado na mistura, o passo seguinte foi o desenvolvimento de procedimento para dispersão dos materiais em laboratório e preparo final do novo backfill.

Para o preparo das amostras a serem testadas, todos os materiais com os percentuais pré-definidos foram misturados em um equipamento de laboratório – Figura 6 – apropriado para o preparo e teste de argamassas, através de um processo contínuo de mistura.



FIGURA 6 – Misturador de argamassa de laboratório

O preparo do backfill em laboratório seguiu as seguintes etapas:

- adição na cuba dos aglomerados sólidos – material básico – na proporção definida;
- adição de a água na cuba na proporção definida;
- mistura do aglomerado sólido e da água através do acionamento do misturador contínuo (argamassadeira);
- adição na cuba dos materiais de alta condutividade térmica na proporção definida, com o misturador ligado;
- mistura dos agregados através do acionamento do misturador contínuo por tempo pré-determinado;
- adição do cimento na cuba na proporção definida, com o misturador ligado;
- mistura de todos os materiais através do acionamento do misturador contínuo por tempo pré-determinado.

Foram preparadas amostras no misturador, para os testes de resistividade térmica, seguindo o procedimento descrito.

A resistividade térmica destas amostras preparadas com os materiais básicos, os agregados de alta condutividade térmica e o cimento na proporção de 5%, 7,5% e 10% foi medida após 7, 15, 22, 30 e 38 dias de cura da mistura. Os resultados estão apresentados no item seguinte.

A próxima etapa deste projeto de P&D será o desenvolvimento de procedimento e teste da aplicação do backfill desenvolvido em campo de prova controlado.

A parte final do projeto será a transferência tecnológica dos produtos do projeto para a ENEL São Paulo, que financiou o projeto. Com esta finalidade será elaborada a especificação técnica final do novo backfill e do procedimento de uso em campo, será feito treinamento teórico e prático de profissionais da concessionária e suas empreiteiras, e workshop para divulgação dos resultados alcançados.

5.0 - RESULTADOS ALCANÇADOS

O projeto de pesquisa e desenvolvimento está em sua fase final de desenvolvimento em laboratório do novo backfill. Até a data da publicação deste artigo as medições de resistividade térmica com o material totalmente seco não haviam sido concluídas. Porém, os resultados das medições obtidas durante a cura do material foram bastante promissores e o objetivo de resistividade térmica de 0,75 K.m/W deve ser obtido.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nas medições de resistividade térmica das melhores amostras durante a cura do material.

Tabela 2: Resistividades térmicas das amostras testadas

CORPO DE PROVA		RESISTIVIDADE TÉRMICA K.m/W				
		PERÍODO DE CURA DA MISTURA (dias)				
Número	% de cimento	7	15	22	30	38
1	10	0,43	0,44	0,44	0,48	0,49
2	10	0,42	0,48	0,47	0,49	0,50
3	7,5	0,40	0,47	0,47	0,49	0,50
4	7,5	0,46	0,49	0,50	0,53	0,53
5	5	0,42	0,50	0,48	0,52	0,52
6	5	0,43	0,45	0,43	0,47	0,49

Com base nos resultados obtidos e mostrados na Tabela 2 nota-se que a proporção de cimento utilizada na composição do novo backfill aparentemente não tem grande influência na resistividade térmica do material final.

A proporção final de cimento a ser empregada será determinada em função da friabilidade necessária para garantir o fácil acesso aos cabos em caso de eventual manutenção corretiva de falhas e da resistência do envelopamento dos cabos para garantir a estabilidade mecânica do banco de dutos durante a operação da linha subterrânea em condições normais e na ocorrência de curtos-circuitos.

6.0 - CONCLUSÃO

A utilização do novo material para backfill permitirá a redução dos custos de implantação das novas linhas subterrâneas de alta tensão. A redução mais importante é no custo do cabo condutor. Como o novo material terá resistividade térmica inferior à dos atuais materiais empregados no Brasil, será possível utilizar condutores de menores seções transversais para transportar as mesmas correntes nominais. A outra redução de custo advém da redução do tempo de construção civil com a utilização de material fluidizado e auto-compactante para backfill.

Para estimar a redução de custos que será obtida com a utilização do novo backfill, foram utilizados os custos de cabos e obras civis de obras recentes da concessionária de distribuição. Os cálculos de ampacidade foram realizados para a mesma configuração de banco de dutos e resistividades térmicas de 1 K.m/W (backfill atual) e 0,75 K.m/W (do novo material), empregando a metodologia consagrada nas normas da IEC.

Os resultados dos cálculos mostram que nas linhas da concessionária será possível o uso de cabos com condutores de alumínio de 1.000 mm² em vez de 1.200 mm², e de 800 mm² em vez de 1.000 mm².

Considerando as variações dos preços dos cabos e acessórios (emendas e terminais), a redução do custo dos materiais da linha subterrânea estará entre 12% e 24%.

A redução dos custos das obras civis com a utilização do material fluidizado é resultante da redução do tempo da construção de banco de dutos. A redução do tempo de construção de banco de dutos empregando o backfill fluidizado foi estimada em 30% do total desta atividade. Entretanto o custo do novo material será superior ao do backfill atual.

Segundo levantamentos de custos de matérias primas do atual e do novo backfill, e do tempo de preparo e transporte dos dois materiais o preço do novo backfill aplicado ficará entre duas a três vezes o preço do atual material.

Considerando a redução de custo da construção do banco de dutos diretamente proporcional a redução do tempo da obra, e o acréscimo de custo estimado devido o maior custo do novo material de backfill, os custos da construção dos bancos de dutos empregando o backfill fluidizado será em média 9% inferior ao atual custo. Como a construção do banco de dutos representa 51% do custo total das obras civis, a redução de custo total das obras civis será de 4,5%.

Considerando os custos relativos de obras civis, materiais e instalação para ponderar e calcular a redução a ser obtida com o novo material para backfill, obteve-se uma redução estimada de 11% no custo total das obras de implantação de novas linhas subterrâneas de alta tensão na classe de 138 kV.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) D. Parmar, H. S. Radhakrishna, J. E. Steinmanis, 1995, "Fluidized Thermal Backfill for Increased Ampacity of Underground Power Cables", Jicable'95
- (2) H. Brakelmann, J. Stammen, J. Dietrich, R. Böing, H.P.May, 2015, "A New Backfill Material With an Extremely High Thermal Conductivity", 8th International Conference on Insulated Power Cables, Jicable'11
- (3) ABNT, 2003, "NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica", Associação Brasileira de Normas Técnicas
- (4) ABNT, 2009, "NBR NM 52:2009 – Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente", Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- (5) IEEE, 2018, "442-2017 – IEEE Guide for Thermal Resistivity Measurements of Soils and Backfill Materials",



XXV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

4746
GLT/25

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

IEEE Standards.ASTM, 2019, "ASTM C150 / C150M -, Standard Specification for Portland Cement", ASTM International

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Julio Cesar Ramos Lopes

Engenheiro eletricitista formado pela Escola Politécnica da USP. Tem pós-graduação em MBA Executivo Internacional da FIA USP. Possui cursos de especialização em Vanderbilt, Wharton, and Darden nos Estados Unidos da América, e City University na Inglaterra, e EMLYON na França.

Tem mais de 40 anos de experiência em engenharia, projetos e construção de subestações e linhas de transmissão de alta tensão aéreas e subterrâneas, até 345 kV.

Foi Gerente Executivo de Planejamento e Engenharia na Eletropaulo. Atualmente é diretor da Inovatec Consultoria e Engenharia e sócio da TAG Inovação Tecnológica.

É coordenador do Working Group B1.71 Guidelines for Safety Risk Management in Cable Systems do SC B1 do CIGRÉ.