

**GERALDO ROBERTO DE ALMEIDA**

**TECNOLOGIA PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO INSTALADAS  
DIRETAMENTE ENTERRADAS EM SOLOS SUJEITOS A INSTABILIDADE  
TÉRMICA E HIDROLÓGICA.**

*Novos materiais para backfill  
Sistema de controle de temperatura*

Tese apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Título de Doutor em  
Engenharia

São Paulo

2011

**GERALDO ROBERTO DE ALMEIDA**

**TECNOLOGIA PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO INSTALADAS  
DIRETAMENTE ENTERRADAS EM SOLOS SUJEITOS A INSTABILIDADE  
TÉRMICA E HIDROLÓGICA.**

Novos materiais para backfill  
Sistema de controle de temperatura

Tese apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Título de Doutor em  
Engenharia

Área de Concentração

Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr.

Luiz Cera Zanetta Jr

São Paulo

2011

Almeida, Geraldo Roberto de

Tecnologia para linhas de transmissão instaladas diretamente enterradas em solos sujeitos a instabilidade térmica e hidrológica. Novos materiais para *backfill* e sistema de controle de temperatura. São Paulo (SP) 2011 92p.

Tese de (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Elétrica – Programa de Energia e Automação.

Engenharia Elétrica, Transmissão Subterrânea, Cabos Alta Tensão, Backfill, Instabilidade Térmica.

I. University of Saint Paul – Brazil. Electric Engineering Dept. II.T.

“O meio contínuo é a forma ideal: de interpretação dos materiais na engenharia, ou o melhor início de pesquisa sobre materiais”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> *Dr. Ing° Giusepppe Luoni, Amigo e Mentor na minha formação como pesquisador e tecnólogo industrial.*

## AGRADECIMENTOS

À minha família Dauricea (Esposa), Greice, Cynthia, Lílian e Michel (filhos), Rafael e Mariana (netos) pela convivência familiar que deles subtraí durante muito tempo, para execução deste trabalho.

Ao Prof Zanetta pela compreensão e atenção durante os anos de a elaboração deste trabalho.

Ao Dr. Ing. Luigi Emanuelli, inventor do cabo óleo fluido que inspirou várias gerações de pesquisadores industriais e me propiciou o MsC e DsC na tecnologia deste produto

Ao Dr. Ing Paolo Gazzana Priaroggia que com muita calma, tranqüilidade e paciência nos ensinou o segredos da experimentação.

Ao Prof. Dr. Ing Elio Ochinni que nos ensinou a modelagem matemática das idéias e conjecturas

Ao Dr. Ing Aldo Morello pelo trabalho pioneiro de engenharia em cabos elétricos.

Ao Dr. Vincenzo Antônio Spedicato com quem aprendi o valor econômico das idéias e derivativos de tecnologia.

À Prof<sup>a</sup> Anna Zaharov pelo exaustivo trabalho de revisão dos textos e correções.

À LIGTH SESA que adotou este trabalho no seu programa de P&D

À ANEEL pelo suporte financeiro para execução deste trabalho.

Aos Engenheiros Carla Damasceno e Athayde Pinheiro da LIGTH SESA que me ajudaram no planejamento e execução do caso descrito neste trabalho.

---

## RESUMO

Este trabalho é um *conjunto de conhecimentos sistematizado*, alguns já disponíveis através da engenharia e/ou da tecnologia, e outros desenvolvidos durante este trabalho para solução de problemas que freqüentemente se apresentam na modalidade de instalação de linhas de *transmissão subterrânea* enterradas diretamente no solo. Nas linhas de transmissão diretamente enterrada, a corrente máxima circulante nos condutores depende do salto térmico entre o condutor e a temperatura máxima do solo em um ponto remoto onde os cabos estão instalados. Duas variáveis além da corrente tem um papel de extrema relevância: A resistência elétrica do condutor e blindagens que define as perdas joules geradas pelos condutores e capas metálicas, respectivamente e a resistência térmica externa do solo circunstante ao cabo enterrado. A parte devido às perdas joules já foi exaustivamente estudada e sistematização atual é suficiente para a solução da maioria dos problemas de engenharia, mas a parte do conhecimento da resistência térmica externa tem ainda muitos pontos que ainda não foram totalmente esclarecidos: sejam na modelagem, sejam nos materiais sejam no controle da fenomenologia. O escopo deste trabalho é dar uma contribuição no papel da resistência térmica externa aos cabos enterrados através de uma engenharia simultânea (Elétrica, Mecânica e Civil) assistida por tecnologia de desenvolvimento de materiais (*Backfill*).

### Palavras-chave

**1. Linhas subterrâneas de energia elétrica. 2. Cabos elétricos. 3. Engenharia elétrica. 4. Backfill. I. Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Elétrica. II.T.**

## **ABSTRACT**

The present work is a set of systematized knowledge, some of them available in the engineering and technological literature and others developed during this work to solve problems which presents in direct buried cables modalities. In direct buried transmission lines the current carrying in the conductors depends on the temperature rise of the conductor in respect of the temperature of remote soil. Two variables beyond the electrical current on the conductor play a paramount role: The electrical resistance of the conductor and sheaths which define the Joules losses upon the conductor and sheath and the thermal resistance between cable and soil. The role of Joule losses has been sufficiently studied providing solutions for large class of engineering problems, but the available knowledge regarding external thermal resistivity has several points under considerations yet: Even in modeling, materials and phenomenology control. The scope of this work is to present a short contribution on the role of external thermal resistance between cables and soil through the simultaneous frame work (Electrical, Mechanical and Civil engineering) and Technological development of materials (Backfill).

### **Key words**

**Underground transmission lines. 2. Electric cables. 3. Electric Engineering. 4. Backfill.**

## **SUMÁRIO**

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1 INTRODUÇÃO

2 A RESISTÊNCIA TÉRMICA EXTERNA

2.1 DEFINIÇÕES GERAIS DE RESISTÊNCIAS TÉRMICAS PARA CABOS ENTERRADOS

2.2 CÁLCULOS DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DO SOLO USANDO FONTES PONTUAIS

3 MATERIAIS DE ENTERRAMENTO DOS CABOS

3.1 ESTABILIDADE TÉRMICA DOS SOLOS

3.2 BACKFILLS ESTABILIZADOS

3.2.1 AREIAS SELECIONADAS

3.2.2 ARGAMASSA CBS – CONCRETO MAGRO

3.3 BACKFILL ARTIFICIAIS

4 MEDIÇÕES DE TEMPERATURA EM TEMPO REAL

4.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO PONTUAL SEM TRANSMISSÃO DE SINAIS (LEITURAS LOCAIS)

4.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO PONTUAL COM TRANSMISSÃO DE SINAIS (LEITURAS REMOTAS)

4.3 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DISTRIBUÍDO (MEDIÇÃO USANDO AS PRÓPRIAS FIBRAS ÓPTICAS)

5 CASO LIGTH – SESA

5.1 LEVANTAMENTO DOS MATERIAIS DISPONÍVEIS

5.2 ALTERNATIVAS TÉCNICO-ECONÔMICAS

5.3 ENSAIOS E MEDIÇÕES

5.4 CÁLCULOS DE AMPACIDADES

5.5 TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO

5.6 IMPLEMENTAÇÃO EM ÁREA PILOTO

5.7 MONITORAMENTO DE TEMPERATURA

5.8 CONCLUSÕES DA RECAPACITAÇÃO

6 RESULTADOS

7 DISCUSSÕES

8 CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS

ANEXOS

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

