



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

Versão 1.0  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

### **GRUPO III**

#### **GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (GLT)**

##### **PROJETO E RECAPACITAÇÃO DE FUNDAÇÕES DE SUPORTES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO A EXPERIÊNCIA DA ELETROSUL**

**José Carlos de Saboia Stephan (\*)  
ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

### **RESUMO**

Este IT apresenta procedimentos e metodologias para a avaliação da necessidade de recapitação das fundações de suportes de LT's, sendo que, nos casos em que foram necessárias as citadas recapitações, abordamos metodologias e procedimentos adotados para tal. São abordados neste IT, recapitações efetuadas em LT's reconduzidas, LT's que tiveram seus condutores retracionados, LT 's que tiveram suas árvores de carregamento atualizadas pela utilização de novas normas, bem como de LT's em que ocorreram acidentes de deslizamento de encostas. Este IT faz, também, uma abordagem crítica das metodologias utilizadas para projeto de fundações versus resultados obtidos na prática.

### **PALAVRAS – CHAVE**

Linhas de Transmissão, Fundações, Recapitação, Reforços, Metodologias.

#### **1.0 – INTRODUÇÃO**

O aumento da demanda por energia elétrica e telecomunicações no Brasil, ocorrida nos últimos 15 (quinze) anos, forçou-nos a aumentar significativamente a potência elétrica instalada, bem como nossa capacidade de transmissão de dados. Como tudo isto ocorreu ao mesmo tempo, e não dispúnhamos de todos os recursos necessários para resolver estes problemas da forma convencional, fomos obrigados a inovar e procurar novas formas para resolvê-los. O problema da transmissão de dados foi em muito resolvido pela troca nas linhas de transmissão, de cabos pára-raios convencionais por pára-raios OPGW. O problema do aumento da potência elétrica instalada foi resolvido em grande parte pela repotenciação e conseqüente recapitação de LT's. Para que se tenha uma idéia da magnitude do problema da transmissão de dados, só a Eletrosul colocou em suas LT's cerca de 4.000 km de cabos pára-raios OPGW. As recapitações para atender ao aumento da potência instalada, realizadas nas LT's da Eletrosul foram feitas, basicamente, de duas formas distintas : por reconduzimento (troca dos cabos condutores das LT's) e por retracionamento de seus cabos condutores. Foram efetuadas, também, recapitações através da "atualização" do carregamento dos suportes das LT's, ou seja, seu dimensionamento foi verificado para novas árvores de carregamento, as quais foram elaboradas através da utilização de normas mais recentes (IEC 826, NBR 5422, etc). Por último, foram efetuadas recapitações de LT's por motivos geotécnicos, ou seja, deslizamentos de encostas, erosões e adensamentos, ocorridos por motivos "naturais" ou causados por intervenção humana. Só para dar uma idéia da magnitude deste trabalho, foram recapitados 4.200 km de LT's, sendo que deste total 95 % para aumentar a potência instalada na Eletrosul. Cabe ressaltar que as recapitações tratadas neste IT, são recapitações de fundações de suportes metálicos treliçados, autoportantes ou estaiados.

#### **2.0 – CÁLCULO DAS CARGAS ATUANTES NO TOPO DAS FUNDAÇÕES**

Uma vez definidas as novas árvores de carregamento dos suportes das LT's, devemos modelar seus suportes como treliças espaciais (3D), e efetuar nova análise estrutural dos mesmos, através de processos computacionais

(\*) Rodovia SC 407 Km 4 - CEP: 88122-001 - Sertão do Maruim – São José – SC - Brasil  
Tel: 55(48) 3231-3707 – Fax: 55(48) 3231-3677 – email: jcsaboia@eletrosul.gov.br

que utilizem o método dos elementos finitos. O elemento finito a ser considerado será um elemento de barra. Após a conclusão da análise estrutural, serão obtidas as cargas de flexo-tração e flexo-compressão atuantes no topo das fundações dos suportes autoportantes e as cargas de tração nos estais e compressão nas fundações dos mastros, para suportes estaiados.

### 3.0 – RECAPACITAÇÃO DE FUNDAÇÕES DE SUPORTES DE LT's

#### 3.1 Análise do dimensionamento estrutural das fundações

Após a obtenção das novas cargas atuantes nas fundações dos suportes das LT's, deverá ser efetuada nova verificação estrutural das mesmas, não importando o material utilizado para sua construção (perfis de aço laminado, concreto armado, etc..). Se as fundações não suportarem estruturalmente os novos carregamentos, uma recapacitação das mesmas deverá obrigatoriamente ser executada.

#### 3.2 Análise do dimensionamento geotécnico das fundações

Entenda-se como dimensionamento geotécnico de uma fundação, à verificação da capacidade do solo em absorver os carregamentos a ele transmitidos pela fundação. Caso os solos não as absorvam, uma recapacitação nas fundações deverá ser efetuada.

##### 3.2.1 Análise do dimensionamento geotécnico de fundações situadas em solos argilosos

Para efetuar o dimensionamento geotécnico de uma fundação submetida a novos carregamentos e situada em solo argiloso, necessitamos entre outros dos seguintes dados:

- Execução de sondagem(s) a percussão SPT (avaliação da capacidade a compressão do solo) ;
- Ensaio das fundações à tração.



Figura 1 – Ensaio de sapata a tração em solo argiloso.



Figura 2 - Ensaio de estai a tração em solo argiloso.

##### 3.2.2 – Análise do dimensionamento geotécnico de fundações situadas em solos arenosos

Para efetuar o dimensionamento geotécnico de uma fundação submetida a novos carregamentos e situada em solo arenoso, necessitamos entre outros dos seguintes dados:

- Ensaio de compressão de placa (a sondagem SPT não costuma dar bons resultados neste tipo de solo) ;
- Ensaio das fundações à tração.

### 4.0 – MÉTODOS PARA RECAPACITAR FUNDAÇÕES DE SUPORTES DE LT'S

#### 4.1 Recapacitação de fundações de suportes autoportantes

Podemos recapacitar fundações de suportes autoportantes de várias formas. Neste IT sugerimos as seguintes:

- Através da execução de dois pequenos tubulões de concreto armado interligados por uma viga (para solidarizar os tubulões com os pés do suporte) de concreto armado. Este procedimento deve ser efetuada para todos os pés do suporte ;
- Através da execução de uma fundação reforço que utilize micro-estacas injetadas sob pressão ;



Figura 3 – Ensaio de grelha a tração em solo arenoso.



Figura 4 – Ensaio de estai a tração em solo arenoso.

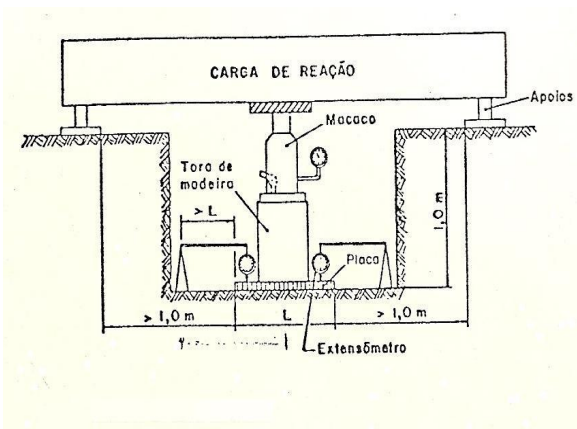


Figura 5 - Equipamento para ensaio de placa.



Figura 6 – Ensaio de compressão de placa.

- Através da execução de fundações reforço (sapatas ou tubulões de concreto armado), que na prática substituem as fundações existentes.

#### 4.2 Recapitação de fundações de suportes estaiados

Podemos recapitar fundações de suportes estaiados de várias formas. Neste IT sugerimos as seguintes:

- Fundações dos estais: utilização de fundações reforço que utilizem micro-estacas injetadas sob pressão ou modificação do reaterro utilizado ;
- Fundações dos mastros: utilização fundação reforço que utilize micro-estacas injetadas sob pressão.

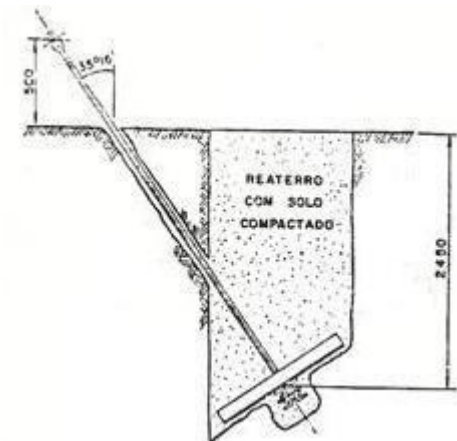


Figura 7 – Fundação de estai com reaterro normal.



Figura 8 – Fundação de estai com reaterro reforçado.





Figura 9 – Fundação reforço em sapata.



Figura 10 – Fundação reforço em sapata.

### 5.0 – INSPEÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

Quando da elaboração do projeto de uma LT, se forem seguidos alguns procedimentos simples, os mesmos poderão evitar a recapacitação de muitos de seus suportes / fundações. Entre outros destacamos os seguintes :

- Na ocasião do estudo do traçado da LT, deverão ser analisados em escritório : mapas geográficos, geológicos e pedológicos das regiões atravessadas pela LT. Após isto feito deverá ser feita viagem ao campo para definir o traçado definitivo da mesma.
- Após o levantamento topográfico do traçado, deverá ser feita uma locação preliminar dos suportes da LT.
- Após isto, deverá ser feita viagem ao campo para verificar a locação preliminar dos suportes. Nesta fase deverão ser feitas as relocações de suportes que se fizerem necessárias, avaliada a necessidade de execução de sondagens complementares e observadas características da região tais como: encostas potencialmente instáveis, presença de argilas expansivas, solos potencialmente colapsíveis, solos potencialmente agressivos, etc.. Acreditamos que se tais procedimentos forem executados antes da elaboração final do projeto da LT, muitos problemas serão evitados.

### 6.0 – RECAPACITAÇÃO DE FUNDAÇÕES DEVIDO A PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

As recapacitações por motivos geotécnicos são as causadas por deslizamentos de encostas, erosões e adensamentos, ocorridos por motivos "naturais" ou causados pela intervenção humana.



Figura 11 – Deslizamento em encosta instável.



Figura 12 – Torre com uma fundação sem base de apoio.



Figura 13 – Suporte com tubulão sem sustentação.

Tais problemas podem ser colocados da seguinte forma :

- Deslizamento de encostas :
  - Ocorridos sem intervenção humana ( cerros formados por arenitos na fronteira do Rio Grande do Sul com o Uruguai , encostas da serra do mar , etc..).
  - Causados pela interferência humana ( desmatamentos , estradas de acesso construídas de forma inadequada, etc..).
- Erosões ( torres implantadas em locais inadequados, desmatamentos, etc..).
- Adensamentos ( banhados desmatados e drenados para cultivo de arroz , formação de pastos, etc..).

Os suportes implantados em locais onde ocorreram deslizamentos de encostas devem ser relocados para locais seguros ou, caso possível, a encosta deverá ser recomposta e executadas obras de terra, tais como cortinas atirantadas ou muros de arrimo ( gabiões ).



Figura 14 – Fundação em estacas em banhado adensado.



Figura 15 – Fundação em banhado adensado.

Para recapacitar fundações em estacas implantadas em banhados adensados, deverá primeiramente ser verificada a possibilidade de recuperar a mesma e, caso não seja possível, reforçar as mesmas implantando fundações reforço que utilizem micro-estacas injetadas sob pressão.

## 7.0 – RECAPACITAÇÃO DE FUNDAÇÕES DEVIDO A OCORRÊNCIA DE SOLOS AGRESSIVOS

Para a avaliação do grau de agressividade dos solos atravessados por uma linha de transmissão, poderão ser utilizadas as tabelas abaixo após exame químico do solo, em laboratório.

Tabela 1 – Avaliação do potencial agressivo dos solos.

Resistividade
Sais solúveis ( Ca + Mg + Na + K )
Acidez total
Potencial de Oxiredução
Umidade
Teor de Cloretos
Sulfatos
Sulfetos
pH

Tabela 2 – Valores de referência.

	Agresivo	Não Agressivo
Resistividade	<1500Ωcm	> 2500Ωcm
Sais Solúveis	> 5mg.eq./100g	<2mg.eq./100g
Acidez Total ( H+)	>25mg.eq./100g	< 15mg.eq./100g
Pot. Oxiredução	< 0,3 V	> 0,4 V
Umidade	> 25%	< 15 %
Cloretos (Cl-)	> 1000 mg/Kg	< 100 mg/Kg
Sulfatos (SO4--)	> 300 mg/Kg	< 200 mg/Kg
Sulfetos (S--)	> 0,5 mg/Kg	< 0,2 mg/Kg
pH	< 5,0	> 6,0

No caso da agressividade do solo ser confirmada após exame do mesmo em laboratório, poderão ser tomadas as seguintes providências :

- Utilização de proteção catódica.
- Implantação de fundações reforço em concreto armado tomando os seguintes cuidados :
  - Utilizar cimento pozolânico ou cimento alto-forno ou cimento resistente a sulfatos ;
  - Utilizar armadura lisa com pequena distância entre os ferros ;
  - Utilizar armadura com recobrimento de cerca de 5,0 cm.

## 8.0 – RECAPACITAÇÃO DE FUNDAÇÕES – PROCEDIMENTOS E METODOLOGIAS A SEREM SEGUIDOS

### 8.1 Dimensionamento estrutural das fundações recapitadas

#### 8.1.1 Suportes autoportantes e estaiados

Podemos afirmar que as teorias utilizadas no Brasil para dimensionar estruturalmente as fundações de suportes autoportantes e estaiados são compatíveis com os resultados obtidos na prática.

### 8.2 Dimensionamento geotécnico das fundações recapitadas

#### 8.2.1 Suportes autoportantes

Podemos afirmar que a maioria das teorias utilizadas no Brasil para dimensionar geotécnicamente as fundações de suportes autoportantes, muitas vezes chegam a resultados muito discrepantes dos obtidos na prática. Por este motivo torna-se muito importante a realização de ensaios e a utilização da experiência do projetista.

#### 8.2.2 Suportes Estaiados

Podemos afirmar que a maioria das teorias utilizadas no Brasil para dimensionar geotécnicamente as fundações de suportes estaiados, muitas vezes chegam a resultados muito discrepantes dos obtidos na prática. Por este motivo torna-se muito importante a realização de ensaios e a utilização da experiência do projetista.

### 8.3 Carregamentos utilizados no dimensionamento estrutural de fundações recapitadas

#### 8.3.1 Suportes autoportantes

As fundações de suportes autoportantes são dimensionadas estruturalmente para suportar carregamentos de flexo-tração / flexo-compressão (tubulões e fustes de sapatas) e flexão pura (base de sapatas).

#### 8.3.2 Suportes estaiados

As fundações de suportes estaiados são dimensionadas estruturalmente para suportar carregamentos de tração (estais) e compressão / flexo-compressão (mastros).



#### 8.4 Carregamentos utilizados no dimensionamento geotécnico de fundações recapitadas

##### 8.4.1 Suportes autoportantes

As fundações de suportes autoportantes são verificadas para as cargas de tração, compressão e tombamento separadamente.

##### 8.4.2 Suportes estaiados

As fundações de suportes estaiados são verificadas a tração (estais) e compressão / flexo-compressão (mastros).

### 9.0 – RECAPACITAÇÃO DE FUNDAÇÕES – ENSAIOS DE CARGA

As fundações recapitadas de suportes de linhas de transmissão devem ser ensaiadas a tração, tanto para verificar seu dimensionamento estrutural como, principalmente, para verificar seu dimensionamento geotécnico.

#### 9.1 Ensaio de carga a tração

##### 9.1.1 Ensaio geotécnicos

Em cada um dos locais de teste deverão ser realizados os seguintes ensaios :

- Sondagem a percussão tipo SPT (solos argilosos) ;
- Ensaio de placa (solos arenosos) ;
- Peso específico do solo (antes do início da escavação, no fundo da escavação e no reaterro após o termino da compactação).

Deverão ser retiradas duas amostras indeformadas nas profundidades adequadas, para realização dos seguintes ensaios de laboratório :

- Limites de Atterberg ;
- Umidade natural ;
- Peso específico natural ;
- Granulometria com sedimentação ;
- Ensaio de compactação Proctor Normal ;
- Ensaio de compressão triaxial (rápido, não drenado).

##### 9.1.2 Equipamentos para a realização dos ensaios de carga a tração

- A estrutura para a realização dos ensaios deverá ter um vão livre tal que seus apoios fiquem afastados da fundação, de modo a não haver interferência da zona de ruptura da fundação com os bulbos de pressão dos apoios.
- O local dos apoios da estrutura deverá ser previamente compactado. A base dos apoios deve ter área suficiente para bem distribuir a pressão do solo, sem sofrer recalques excessivos.
- A estrutura deverá ser projetada para resistir a carga teórica de ruptura do solo, sem apresentar deformações permanentes.
- Durante a aplicação da carga, a estrutura não poderá sofrer qualquer tipo de deslocamento.
- O equipamento para aplicação das cargas deverá ter a capacidade mínima acima citada, e permitir a aplicação, com precisão, dos diversos estágios de carga.
- A conexão da fundação com o equipamento de tração deverá ser rígida e permitir a compensação das possíveis diferenças de afastamento da mesma ao macaco, não sendo aceitas conexões feitas com cabo de aço.
- A medição dos deslocamentos deverá ser feita por extensômetros com precisão de 0,01 mm.

##### 9.1.3 Execução dos ensaios

- Antes do inicio dos ensaios, será aplicada uma carga inicial de 800kgf, para ajuste da fundação. Esta carga deverá ser mantida por 1 minuto, quando será anotado o respectivo deslocamento.
- O ensaio consistirá na aplicação de estágios de carga sucessivos, com intervalos de 800kgf entre si.
- Em cada estágio, os deslocamentos serão lidos imediatamente após terem decorrido os seguintes intervalos de tempo: 1, 2, 4, 8 e 15 minutos. O número de intervalos de tempo poderá ser reduzido, se for verificada a estabilização dos deslocamentos, o que ocorrerá quando a diferença entre duas leituras consecutivas for inferior a 5% do deslocamento total no estágio de carga em questão. O ensaio será levado até atingir a carga de ruptura da fundação e/ou colapso estrutural de seus componentes.

- A ruptura da fundação terá ocorrido quando for observado um aumento incessante e acentuado dos deslocamentos, sem que haja um aumento do carregamento. Neste caso, a carga de ruptura deverá ser anotada.
- Caso não se atinja a ruptura, e após decorrido o intervalo de 15 minutos referente ao último estágio de carregamento, a carga deverá ser reduzida a 1000kgf e mantida durante 1 minuto, após o que se fará a leitura do deslocamento residual.

## 9.2 Ensaio de placa

### 9.2.1 Instalação da placa

- O ensaio deverá ser realizado a 1 m de profundidade (cota da superfície de carga, sobre a qual se apoiará a placa).
- A placa para aplicação da carga deverá ser rígida e ter uma área não inferior a 0,09 m<sup>2</sup>. Será colocada sobre o solo em seu estado natural, devidamente nivelado.
- Ao abrir-se a cava, deverão ser tomados os cuidados que se fizerem necessários para evitar alteração do grau de umidade natural e amolgamento do solo na superfície de carga.
- Em torno da cava onde será instalada a placa, e o terreno deverá ser aplainado. Não deverá ser aplicado qualquer carregamento sobre o solo, na área situada a menos de 1 m do perímetro da placa.

### 9.2.2 Equipamentos

- Deverá ser utilizado macaco hidráulico com capacidade adequada, munido de bomba e manômetro devidamente aferidos. Este equipamento deverá atuar contra uma carga de reação.
- O dispositivo de transmissão de carga deverá ser tal que a mesma seja aplicada verticalmente, no centro da placa. Choques e vibrações de qualquer espécie deverão ser evitados durante execução dos ensaios.
- Os recalques deverão ser medidos por extensômetros sensíveis a 0,01 mm, colocados em dois pontos da placa diametralmente opostos.
- Os dispositivos de referência para medição dos recalques deverão ser instalados de modo a não sofrer influência dos movimentos da placa do terreno circunvizinho, ou do sistema de aplicação de cargas, devendo seus apoios ficarem situados, no mínimo, a uma distância do centro da placa igual a 1,5 vezes o seu lado (ou diâmetro).

### 9.2.3 Execução dos ensaios

- A carga deverá ser aplicada na placa em estágios sucessivos de 0,2 kgf /cm<sup>2</sup>.
- Em cada estágio de carga, os recalques serão lidos imediatamente após a aplicação dessa carga e após intervalos de tempo sucessivamente dobrados (1,2,4,8,15 minutos etc.). Só será aplicado novo acréscimo de carga, após a estabilização dos recalques, o que ocorrerá quando a diferença entre duas leituras sucessivas for inferior a 5% do recalque total no estágio de carga em questão. A partir do 10º estágio, a carga deverá ser aplicada em incrementos sucessivos de 0,4 kgf /cm<sup>2</sup>.
- O ensaio deverá ser levado até, pelo menos, observar-se um recalque total de 25 mm ou até atingir-se uma carga pré-determinada.
- A carga máxima alcançada deverá ser mantida, no mínimo, durante 1 (urna) hora.
- O descarregamento da placa será feito em estágios sucessivos, não superiores a 25% da carga total, lendo-se os recalques de maneira idêntica à do carregamento e mantendo-se cada estágio até a estabilização dos recalques, conforme definido anteriormente.

## 10 – CONCLUSÕES

Observando o anteriormente exposto, podemos afirmar que a execução de recapacitações em fundações de LT's na Eletrosul, seja por motivo de recondução, retracionamento de condutores, substituição de cabos para-raios, "atualização" das árvores de carregamento, agressividade dos solos ou problemas geotécnicos, mostrou-se sempre viável e, geralmente, de baixo custo, quando comparada a outras possíveis soluções. Podemos afirmar, também, que devido a discrepância quase sempre observada entre as teorias e metodologias utilizadas para tal e os resultados obtidos na prática, devemos valorizar a experiência como fonte de evolução do conhecimento humano e aprimoramento dos meios de produção.

## 11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PECK, R.B., HANSON W., THORNBURN T. Foundation Engineering ( 1973 ) 2nd Edition.
- (2) TSCHEBOTARIOFF G. P. Fundações, Estruturas de Arrimo e Obras de Terra ( 1978 ).
- (3) TERZAGUI K., PECK R.B. Soil Mechanics in Engineering Practice ( 1948 ).
- (4) BRESLER B., LIN T. Y., SCALZI J. B. Design of Steel Structures.
- (5) AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Design of Latticed Steel Transmission Structures.
- (6) XVIII SNPTEE. FULCO L. , Reforços em Fundações de Suportes de Linhas de Transmissão.