



Medições de resistividade do solo na Linha de Transmissão Norte-Sul

Alexandre Regis Nóbrega, MSc e Alexandre Pinhel Soares

FURNAS Centrais Elétricas S.A.

Resumo

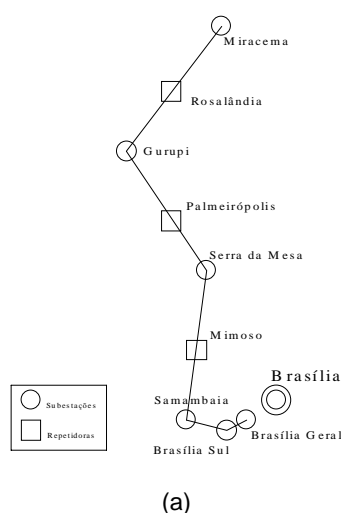
O transporte de energia elétrica desde as fontes geradoras até os centros consumidores é feito por sistemas de Linhas de Transmissão (LT's). No Brasil, as LT's em 60 Hz são trifásicas, o que significa que a energia elétrica está variando em amplitude a uma taxa de 60 vezes por segundo em três percursos defasados entre si de 120 graus. Junto à linha de transmissão, há um sistema de pára-raios, usado para a proteção da linha, que também pode ser usado para transmissão de dados. Neste caso, utiliza-se um cabo especial chamado OPGW ("Optical Groundwire"), constituído, internamente, por fibras ópticas. Face às grandes distâncias percorridas pelas LT's, há um decaimento da potência do sinal luminoso que trafega pelo cabo óptico. Para garantir a integridade dos sinais é necessária a instalação de equipamentos amplificadores ao longo da linha. Esses amplificadores são constituídos por dispositivos sensíveis e são estratégicos para a operação da LT em que estão inseridos. De fato há necessidade de instalações protegidas contra surtos que são causados, principalmente, por descargas atmosféricas. Dentre as especificações para o projeto de instalações de amplificadores há a malha de terra, e para dimensioná-la, é necessário conhecer as características do solo — É através dele que as correntes de surto escoarão. Este trabalho apresenta as medidas de resistividade do solo próximo às instalações dos amplificadores ópticos da LT Norte-Sul, a ser inaugurada no primeiro semestre de 1999, e que interliga o bloco de energia elétrica do Sistema Sul-Sudeste-Centro-Oeste com o bloco da região Norte.

INTRODUÇÃO

De uma forma geral, ao se projetar qualquer edificação deve-se protegê-la contra descargas atmosféricas. Uma parte fundamental dessa proteção é a malha de terra, responsável pela drenagem de correntes de surto para o solo causadas, principalmente, por descargas atmosféricas. De fato, o dimensionamento da malha de terra depende, fundamentalmente, das características do solo, em especial da resistividade — parâmetro obtido através de métodos de medição específicos. Neste artigo empregou-se o método de Wenner [1].

LOCAIS DE MEDIÇÃO

A Linha de Transmissão Norte-Sul, referente ao trecho operado por FURNAS Centrais Elétricas S.A., interliga Brasília a Miracema conforme a figura 1. O cabo óptico OPGW instalado é constituído por 36 fibras ópticas, com cerca de 700 km de extensão, cujos amplificadores se situam nas localidades de Mimoso, Palmeirópolis e Rosalândia. Neste trabalho, as medições são relativas às instalações de Palmeirópolis.



(b)

Figura 1 – a) LT Norte-Sul referente ao trecho operado por FURNAS ; b) Instalação junto à LT.

METODOLOGIA EMPREGADA

A resistividade do solo varia, consideravelmente, em função do tipo, composição química, capacidade higroscópica, temperatura e efeitos sazonais. Diminui com o aumento da umidade e presença de sais e com a elevação da temperatura. A tabela 1 mostra a variação da resistividade para vários tipos de solo [2,3]., e a figura 2 mostra o terreno usado nas medições de resistividade do solo em Palmeirópolis.



Tabela 1 – Resistividade para vários tipos de solo

TIPO DE SOLO	ρ ($\Omega.m$)
Lama	5 a 100
Terra de jardim c/ 20% de umid.	480
Argila c/ 20% de umidade	330
Argila seca	1500 a 5000
Areia comum	3000 a 8000
Calcário compacto	1000 a 5000
Basalto	10000 a 20000
Quartzito	10 a 200000

Figura 2 – Terreno usado nas medições.

O método de Wenner, aplicado a solos homogêneos, utiliza quatro eletrodos (hastes de aterramento cravadas no solo), dispostas em linha reta e igualmente espaçadas. Através de um instrumento de medição de quatro terminais (Terrômetro ou Megômetro), injeta-se uma corrente elétrica alternada nas hastas das extremidades e mede-se a diferença de potencial desenvolvida no solo entre as hastas centrais (figura 3). Utiliza-se corrente alternada para se evitar a possibilidade de eletrólise do solo e polarização dos eletrodos durante a medição, afetando a indicação do instrumento.

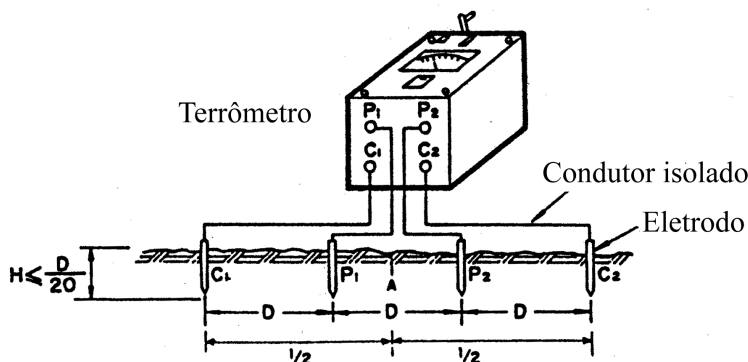


Figura 3 – Configuração usada para a medição de resistividade do solo pelo método de Wenner.

A resistividade pode ser calculada pela fórmula simplificada de Palmer: $\rho = 2.\pi R.D$ ($\Omega.m$)

Onde: R é o valor lido no instrumento (Ω) e D é o espaçamento entre as hastas cravadas no solo (m).

Na medição empregou-se um instrumento tipo “zero central”. Ele utiliza um gerador de corrente contínua, acionado por manivela e um inversor para fornecimento de corrente alternada [4]. Foram escolhidas duas direções ortogonais distanciadas da LT Norte-Sul de 400 metros, aproximadamente (figura 4). Em cada direção foram feitas medições com os seguintes espaçamentos entre hastas de aterramento: 3, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 40, 60 metros. As hastas foram cravadas a uma profundidade de D / 20 metros para se evitar zonas de interferência entre as mesmas [5].

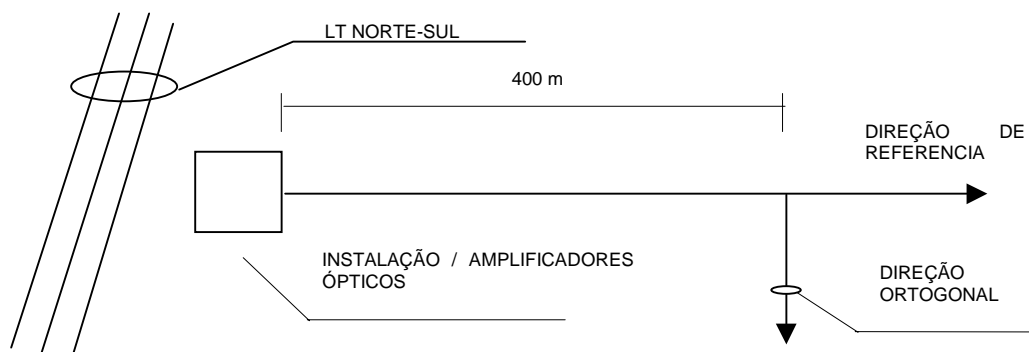


Figura 4 – Direções ortogonais usadas nas medições, distanciadas de 400 metros da LT Norte-Sul.

RESULTADOS OBTIDOS

As medições de resistividade do solo em Palmeirópolis foram realizadas em 01.02.99, dois dias após a última precipitação pluviométrica. Segundo inspeção no local, a camada superficial do solo é do tipo argiloso, coberta com vegetação rasteira.. Os resultados obtidos nas medições são mostrados na tabela 2.

Tabela 2 – Valores obtidos nas medições de resistividade do solo na LT Norte-Sul

D (m)	DIREÇÃO DE REFERÊNCIA		DIREÇÃO ORTOGONAL		$\rho_{MÉDIA} (\Omega.m)^{(3)}$
	R (Ω) ⁽⁴⁾	$\rho (\Omega.m)^{(1)}$	R (Ω) ⁽⁴⁾	$\rho (\Omega.m)^{(2)}$	
3	13,00	2449,20	12,50	2355,00	2402,10
6	97,00	3656,90	95,00	3581,50	3619,20
12	59,00	4448,60	51,00	3845,40	4147,00
18	37,00	4184,70	34,00	3845,40	4015,05
24	23,00	3468,40	22,00	3317,60	3393,00
30	14,00	2639,00	12,50	2356,20	2497,60
36	10,00	2261,90	8,00	1809,50	2035,70
40	7,00	1759,31	5,00	1256,60	1507,96
60	2,00	752,6	9,50	376,8	565,20

NOTAS: (1) Medições realizadas às 10h30min, céu nublado, temperatura de 30° Celsius.
 (2) Medições realizadas às 19h25min, céu parcialmente nublado, temperatura de 28° Celsius.
 (3) Calculou-se o valor médio aritmético para cada distanciamento entre hastes. O valor medido deve apresentar um desvio menor do que 50% com relação ao valor médio aritmético, caso contrário nova medição deve ser realizada: $|(p_{MÉDIA} - p) / p_{MÉDIA}| \cdot 100 < 50\%$.
 (4) Multiplicador igual a 1 para todas as medições com exceção da leitura para 3 m (multiplicador igual a 10).

Para a obtenção da resistividade do solo plota-se a curva: $\rho_{MÉDIA} \times D$ em escala bilogarítmica (figura 5), e utilizam-se as curvas padrão e auxiliar [2] para determinação da estratificação do solo pelo método de Wenner. A Curva padrão relaciona D / d_1 com ρ_2 / ρ_1 , onde d_1 é a profundidade da primeira camada do solo, e ρ_1 e ρ_2 as resistividades da primeira e segunda camadas, respectivamente. A curva auxiliar relaciona ρ'_2 / ρ_1 com d_2 / d_1 , onde ρ'_2 é a resistividade equivalente da primeira e segunda camadas e d_2 é a profundidade da segunda camada a partir da superfície. Através da superposição da curva de resistividade média sobre as curvas padrão e auxiliar determinam-se os valores da resistividade do solo e da profundidade de cada camada, resultantes da estratificação.

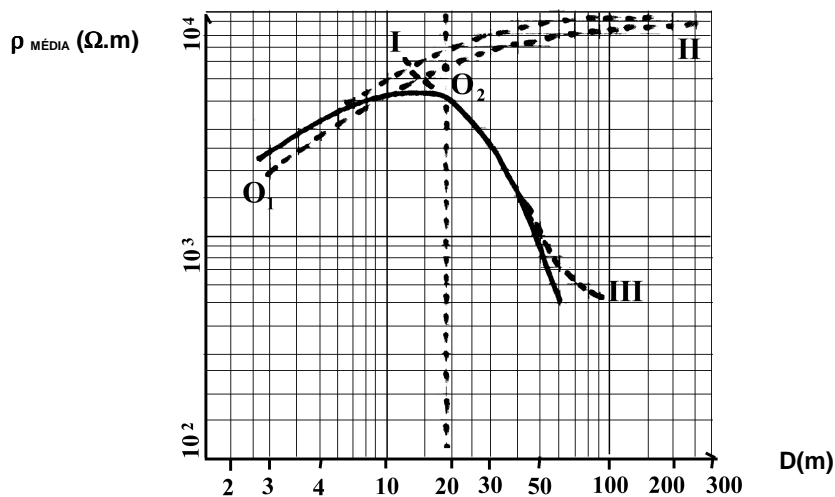


Figura 5 – Gráfico $\rho_{MÉDIA} \times D$ em escala bilogarítmica.

A partir das coordenadas do ponto O_1 (Figura 5), obtém-se a resistividade do solo (ρ_1) e a profundidade da primeira camada (d_1): $\rho_1 = 2000 \Omega.m$ e $d_1 = 3 m$

Da curva padrão, $\rho_2 / \rho_1 = 5$ e do valor obtido para ρ_1 , resulta: $\rho_2 = 10000 \Omega.m$

A partir das coordenadas de O_2 , obtém-se a resistividade equivalente da primeira e segunda camadas: $\rho'_2 = 5500 \Omega.m$ e a profundidade da segunda camada a partir da superfície: $d_2 = 18 m$

Pela curva padrão: $\rho_3 / \rho'_2 = 1/10$ e do valor de ρ'_2 , resulta: $\rho_3 = 550 \Omega.m$

A profundidade da terceira camada não foi determinada tendo em vista o formato da curva $\rho_{MÉDIA} \times D$.

CONCLUSÕES

As medições de resistividade do solo são fundamentais para a qualidade do projeto da malha de terra. Inspeções visuais do terreno podem levar a simplificações que comprometem o projeto e o desempenho de futuras instalações, além de elevar, consideravelmente, o custo envolvido face a maior margem de segurança empregada.

A resistividade do solo encontrada em Palmeirópolis para a primeira camada de 3 metros é cerca de de 2000 Ω .m, podendo se caracterizar como solo argiloso seco, de acordo coma a tabela 1 (resistividade variando de 1500 a 5000 Ω .m). Acredita-se que a precipitação pluviométrica dias antes das medições não tenha alterado, consideravelmente, as características elétricas do solo, face às elevadas temperaturas observadas no período. A Segunda camada do solo, com 18 m de profundidade é formada, possivelmente, por terreno rochoso e possui uma resistividade de 10000 Ω .m. Face a inexistência de um segundo ponto de inflexão na curva de resistividade média em função da distância entre hastes, não foi possível a determinação da profundidade da terceira camada.

A metodologia empregada nos trabalhos de campo possibilitou a realização de medições em tempo reduzido. Um planejamento adequado deve contemplar:

- A definição do instrumental correto, que se mostrou extremamente valiosa para a otimização dos trabalhos de campo, principalmente no que se referiu à quantidade, qualidade e tamanho dos seguimentos de fios, número de hastes, quantidade de ferramentas auxiliares e aferição e teste do terrômetro.
- A escolha correta dos pontos de medição, levando-se em consideração a possível influência de cabos de energia, malhas de terra e dutos metálicos enterrados, que podem influenciar os resultados das medições. A proximidade com LT's , por exemplo, pode implicar no aparecimento de correntes espúrias elevadas no solo.
- A verificação da possibilidade de precipitação pluviométrica no período de medição, evitando-se deslocamentos desnecessários da equipe, além da possível exposição a diferenças de potencial elevadas no solo, decorrentes da incidência de descargas atmosféricas próximas ao local de medição.
- O reconhecimento prévio do terreno ao longo da direção de alinhamento das hastes pode evitar mudanças de direção durante a realização dos trabalhos, face a possíveis dificuldades de acesso da equipe em locais de vegetação densa e terrenos íngremes.
- Escolha e entrosamento da equipe — O número de integrantes influi, consideravelmente, no andamento dos trabalhos. Uma equipe muito grande implica em custo elevado. Dois coordenadores (para dupla conferência das leituras do instrumento e dos cálculos) e três auxiliares (que já tenham trabalhado juntos, anteriormente) mostrou-se muito eficiente.

Devido às dificuldades e aos custos inerentes à execução desse trabalho de campo, torna-se extremamente relevante a divulgação da importância das características do solo e a resultante interação com a malha de terra das instalações, proporcionando argumentos que justifiquem os investimentos e facilitem o planejamento e o trabalho a serem executados.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a FURNAS Centrais Elétricas S.A. pela permissão de publicar esse trabalho e aos funcionários das Área regionais que participaram diretamente nos trabalhos de medição em campo: Paulo de Jesus Esper, Horlando Dias Turíbil, Paulo Sérgio Rodrigues Felício e José Antônio Rebelo da Silva.

REFERÊNCIAS

- [1] NBR 7117 – Medições da Resistividade do Solo pelo Método dos Quatro Pontos, Dez, 1981.
- [2] Aurélio, J; Leon, Moreno, Sistemas de Aterramento, Erico do Brasil, 4ª edição, 1982.
- [3] HVDC Ground Electrode Design, Electric Power Research Institute (EPRI), EPRI EL-2020, Project 1467-1, Final Report, Section 5, Aug, 1981
- [4] Medeiros F., Solon, Fundamentos de Medidas Elétricas, Editora Guanabara, 2ª edição, 1986.
- [5] Manual Técnico de Campo, Módulo 06.50.ZZZ.00/01–R2, Sistemas de Aterramento, FURNAS Centrais Elétricas S.A., Fev, 1985.