



Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos
12 a 15 de maio de 2009 • Bahia Othon Palace

OBTENÇÃO DA RESISTIVIDADE DE SOLO EM LOCAIS URBANOS

José M. Silva¹, Mário S. Cabussú², Kleber F. Portela³, Rogério Salles⁴, Flávio C. Andrade⁵,
Dailton P. Cerqueira⁶, Carlos A Sotille⁷

Copyright 2009, ABENDE, ABRACO e IBP

Trabalho apresentado durante a 10ª. COTEQ – Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s)
autor(es).

Sinopse

Em áreas urbanas a obtenção da resistividade pelo método convencional é um problema, devido a indisponibilidade de áreas livres para execução das medidas. Dificuldade nas medições de resistividade, também tem sido verificado, quando a região a ser estudada está próxima de duto protegido com proteção catódica, em virtude de interferência elétrica por corrente contínua. Outra região problemática é quando se está próximo de circuitos de distribuição e ou transmissão devido a interferências elétricas por corrente alternada. Também tem sido verificado, embora não muito comum, a verificação de interferências por correntes de fuga de circuitos auxiliares, quando a região a ser estudada se localiza nas proximidades de torres de telecomunicações. Com intuito de eliminar o processo de interferência, busca-se desenvolver um processo de obtenção da resistividade através do uso do alicate terrômetro. A idéia é medir o somatório da resistência de aterramento de postes de distribuição, com as resistências de dois eletrodos auxiliares de corrente e descontar esta última para obter o valor da resistência do poste. As resistências R_a e R_b dos eletrodos a e b são medidas, os eletrodos a e b são cravados com uma separação próxima de 5 metros (condição para a qual o erro é inferior a 3%). Os terrômetros comerciais utilizam fontes de corrente de até algumas centenas de Hz, para minimizar o efeito da indução de 60 Hz. A corrente empregada por estes instrumentos é da ordem de algumas dezenas de “mA”, chegando a centenas de “mA” ou até mesmo, frações de “mA”. Quando a resistência total do circuito é grande, esta resistência é dada principalmente pelas resistências dos eletrodos auxiliares, que se situam próximos de centenas de ohms. Com as resistências dos eletrodos auxiliares e com as suas geometrias é perfeitamente possível estimar a resistividade do solo naquela localidade.

Introdução

A medida da resistividade de solo, conforme norma⁽¹⁾ ABNT NBR 7117, é feita com um Megger contendo dois terminais de corrente e dois terminais de tensão independentes e acessíveis. O número de pontos a serem medidos é determinado por dois fatores: dimensão e importância do local e variação dos valores encontrados nas várias medidas. No caso de áreas para construção de subestações “SE's” com dimensões de até 100 x 100 m, costuma-se realizar, pelo menos, medições em 6 pontos, com prospecção de resistividade até 32 metros ou mais de profundidade. Esta indicação é válida para terrenos que se supõem com o mesmo tipo de camadas em todas as direções.

Assim sendo, caso os valores de resistividade, encontrados para uma mesma separação entre eletrodos, variarem mais que 50% com relação ao valor médio aritmético, faz-se medições em maior número de pontos. Isto é indício de variações de tipo de solo, inclinação das camadas, altura diferente do lençol freático, presença de pedras, etc. O local escolhido para medições da resistividade pelo método dos 4 pontos deverá ser sempre longe de áreas urbanas e longe de áreas sujeitas a interferências, tais como torres metálicas de transmissão e respectivos contrapesos, pontos de aterramento do sistema com neutro aterrado, torres de telecomunicações, solos com condutores ou canalizações metálicas não blindadas, enterradas, etc.. No caso de construção de futura subestação (SE) é interessante que as medições sejam feitas após a terraplanagem, o que elimina a primeira camada, normalmente de solo vegetal.

Neste trabalho, também foi usado a medição da resistência de terra com um equipamento⁽²⁾ adaptado para desacoplar correntes de interferência, além do uso da técnica dos 4 pontos (método de Wenner) para comparar com os resultados da técnica ora proposta.

Procedimentos Experimentais

As técnicas utilizadas para checar os resultados da técnica ora proposta, referem-se as medidas de resistividade convencional (vide Fig. 1) e as medidas da resistência do poste com o equipamento adaptado para desacoplar as correntes de interferências (Vide Fig.2).

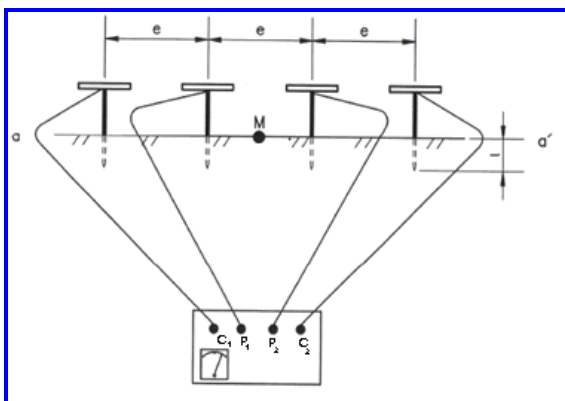


Figura 1: Obtenção da resistividade com o Método de Wenner⁽¹⁾

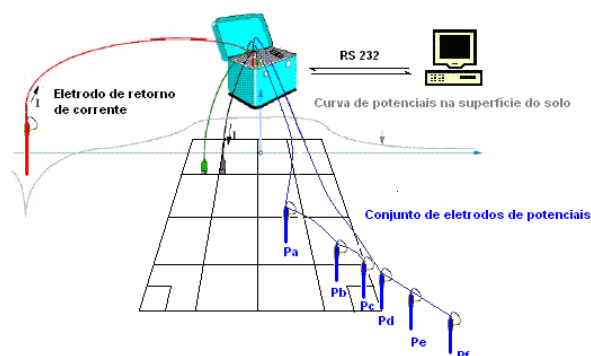


Figura 2: Obtenção da resistividade com o Método de desacoplamento⁽²⁾

Resultados Experimentais

Por motivo de melhor compreensão, este item será subdividido em subitens, conforme segue: Obtenção da resistência de um poste através do uso do terrômetro alicate no cabo de descida do poste, obtenção da resistência do aterramento de um poste através da técnica “T”, obtenção da resistência do aterramento de um poste através da técnica “T”, em conjunto com a técnica “Triângulo”.

Obtenção da resistência de um poste através do uso do terrômetro alicate

O princípio de funcionamento do terrômetro alicate, consiste em um gerador de C.A. que aplica uma tensão em uma bobina com N espiras, cujo núcleo ferromagnético envolve um circuito fechado como o indicado na figura 3, o qual representa a única espira do secundário de um transformador com relação $N:1$. A tensão aplicada na bobina produzirá no circuito fechado uma força eletromotriz (f.e.m) conhecida.

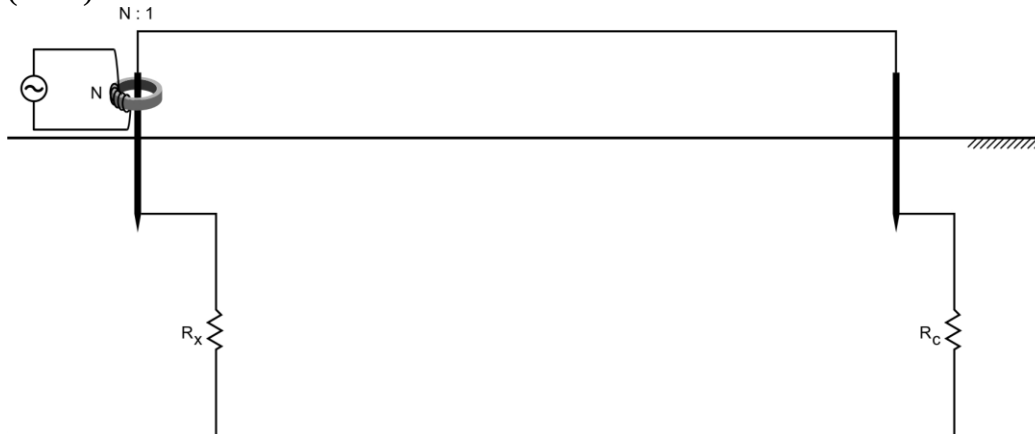


Figura 3: Injeção de uma f.e.m em um circuito fechado

Com outra bobina com (M) espiras pode-se medir a corrente que circula no circuito em questão (vide Fig.4).

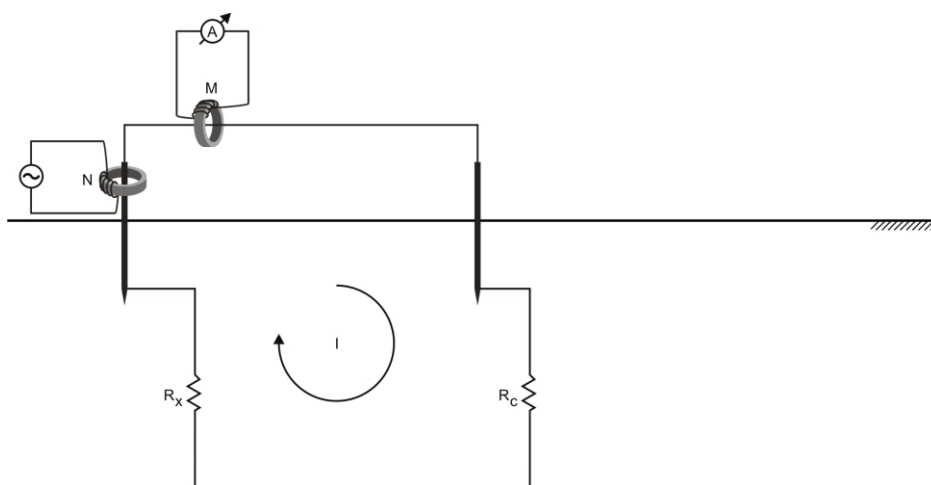


Figura 4: Princípio de funcionamento do terrômetro alicate

A soma das resistências $R_x + R_c$ pode ser obtida pela relação entre a tensão gerada e a corrente circulante. Quando R_c representar um conjunto de eletrodos em paralelo (condição característica de

sistemas multiaterrados), pode -se considerar que $R_x \gg R_c$. Nesta condição, o instrumento indicará o valor da resistência de aterramento R_x procurada (vide Fig.5).

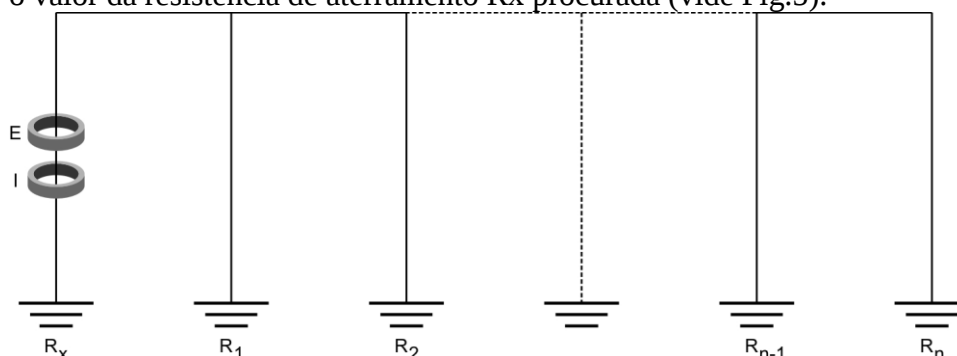


Figura 5: Sistema multiaterrado

A Fig. 5 mostra que para aplicar esta técnica, o operador deve ter certeza de que no poste em que a medição estará sendo realizada, o aterramento deve ser composto de apenas uma e somente uma haste. Na aplicação deste método deve existir um circuito fechado (laço) incluindo a resistência do aterramento que está sendo medido. A resistência do sistema de aterramento que fecha o laço deve ser muito menor que a resistência do aterramento sob medição.

Esta técnica foi usada na medição do aterramento de um poste de distribuição localizado em um bairro (Ilha de São João) da cidade de Salvador (Bahia), conforme mostra a Fig.6.



Figura 6: Obtenção da resistência do aterramento de um poste de distribuição, através do uso do terrômetro alicate.

O poste em questão está localizado em um solo tipo massapé, bastante compacto e úmido. Nas proximidades deste poste, foi possível obter a resistividade do solo pelo método convencional (método de wenner) e o valor encontrado foi próximo de $30 \Omega.m$. A partir dessa resistividade e a parti de cálculos matemáticos⁽⁰³⁾, pode-se esperar um valor próximo de 10Ω , para a resistência do aterramento deste poste. Como pode ser visto pela Fig.6, o valor lido pelo terrômetro alicate ($8,88 \Omega$ ou 9Ω) está muito próximo do valor teórico.

Obtenção da resistência do aterramento de um poste através da técnica “T”

A técnica “T” pode ser visualizada através da Fig. 7.

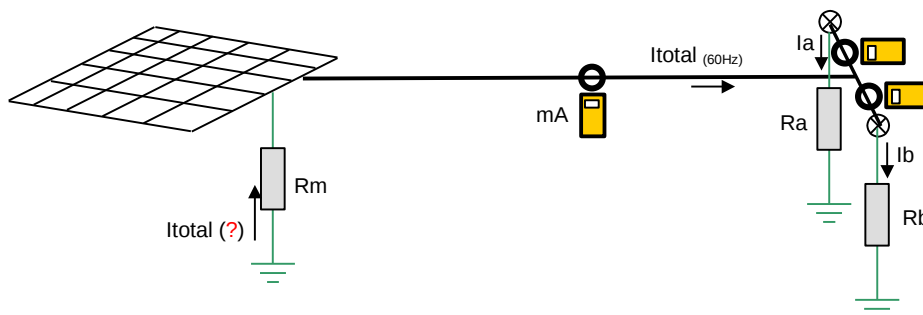


Figura 7: Obtenção da resistência do aterramento de um poste de distribuição através da técnica “T”.

Através desta técnica, a idéia é medir o somatório da resistência, R_m , em conjunto com a resistência de dois eletrodos auxiliares de corrente (vide Fig.7). Para obter as resistências R_a e R_b (eletrodos a e b) foram cravados dois eletrodos com uma separação de 5 metros (condição para a qual o erro seja inferior a 3%).

A medição da resistência R_a+R_b (eletrodos de 1m cada), mostrada na Fig.8, foi de 60Ω e as correntes I_a e I_b foram obtidas conforme mostra a Fig.7 e os resultados foram 51mA e 20mA respectivamente.

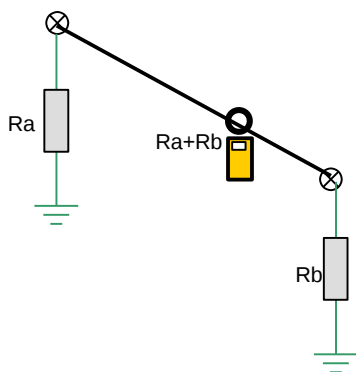


Figura 8: Obtenção das correntes circulantes nos eletrodos auxiliares “a” e “b” através da técnica “T”.

A partir de um sistema de duas equações a duas incógnitas, é possível, obter 43Ω para R_b e 16Ω para R_a .

Por outro lado, foi medido a corrente total (70mA), conforme mostra a Fig.7 e foi medida a tensão V_m (1.310mV), conforme mostra a Fig.9. A partir destas medidas e aplicando a equação:

$$I_t = V_m / [R_m + (R_a/R_b)]$$

Foi possível obter a resistência do aterramento do poste em questão (R_m), única incógnita da expressão acima e o valor encontrado foi de 8Ω .

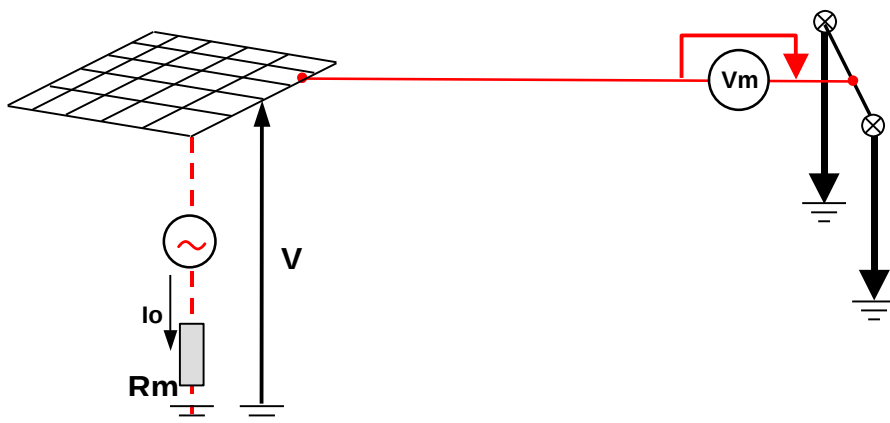


Figura 9: Obtenção da tensão “ V_m ” através da técnica “T”.

Obtenção da resistência de aterramento de um poste através da técnica “T” em conjunto com a técnica “Triângulo”

A técnica “T” em conjunto com a técnica “Triângulo” pode ser visualizada através das: Fig. 10 e Fig.11.

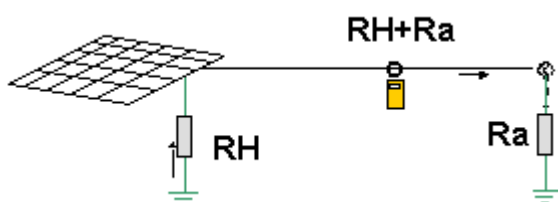


Figura 10: Obtenção de “ $R_H + R_a$ ” entre o aterramento do poste (R_H) e o eletrodo “a” (R_a).

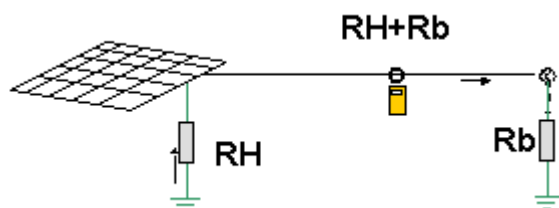


Figura 11: Obtenção de “ $R_H + R_b$ ” entre o aterramento do poste (R_H) e o eletrodo “b” (R_b).

O valor da resistência entre a haste do aterramento do poste e o eletrodo “a”, obtido pelo terrômetro alicate, foi de 90Ω (vide Fig.10) e o valor da resistência entre a haste do aterramento do poste e o eletrodo “b”, obtido pelo terrômetro alicate, foi de 122Ω (vide Fig.11). Neste caso foi usado eletrodos pequenos (0,5 metro cada) e o valor da resistência entre eles foi de 230Ω para ($R_a + R_b$).

Assim sendo, tem-se que:

$$R_H + R_a = 90 \, \Omega$$

$$R_H + R_b = 122 \, \Omega$$

 $2R_H + (R_a + R_b) = 212 \, \Omega$ mas como $(R_a + R_b)$ é $230 \, \Omega$, então $R_H = (212 - 230)/2 = 9 \, \Omega$.

A partir dos valores de resistência do aterramento do poste em estudo, obtidos: ora pela técnica do simples uso do terrômetro alicate no cabo de descida, ora pela técnica “T”, ora pela técnica “T” em conjunto com a técnica “Triângulo”, pode-se obter a resistividade pela divisão do valor da resistência por 0,3, caso a haste de aterramento seja de 2,4 metros de comprimento ($9\Omega/0,3=30 \, \Omega.m$) para o solo vizinho ao poste estudado.

Este mesmo raciocínio foi aplicado para um poste de distribuição localizado em um outro bairro (Praia de Pitanga) da cidade de Salvador (Bahia) e em um outro bairro (praia de Jaguaribe) da cidade de Salvador.

Para o poste na Praia de Pitanga, o valor da resistência do aterramento pelo uso do terrômetro alicate foi de $86 \, \Omega$, o valor da resistência do aterramento pelo uso da técnica “T” foi de $100 \, \Omega$ e o valor da resistência do aterramento pelo uso da técnica “T” em conjunto com a técnica “Triângulo” foi de $89 \, \Omega$. Ao admitir um valor médio de $90 \, \Omega$, pode-se obter a resistividade pela divisão do valor da resistência por 0,3, caso a haste de aterramento seja de 2,4 metros de comprimento ($90\Omega/0,3=300 \, \Omega.m$) para o solo vizinho ao poste estudado. Este valor foi confirmado pela obtenção da resistividade pelo método de Wenner.

O poste da Praia de Jaguaribe possui um aterramento composto de 3 hastes de 2,4 metros. Para este aterramento, o valor da resistência do aterramento pelo uso do terrômetro alicate foi de $150 \, \Omega$, o valor da resistência do aterramento pelo uso da técnica “T” foi de $40 \, \Omega$ e o valor da resistência do aterramento pelo uso da técnica “T” em conjunto com a técnica “Triângulo” foi de $45 \, \Omega$. Neste poste as técnicas ora propostas não podem ser aplicadas, pois o aterramento é composto por mais que uma haste. A resistividade pelo método de Wenner obtida para o solo próximo à este poste foi de $330 \, \Omega.m$. A partir desta resistividade pode concluir que a resistência esperada do aterramento deste poste seria próximo de $100 \, \Omega$.

Conclusões

Deste trabalho, conclui-se que é perfeitamente possível: a obtenção da resistividade através do uso do terrômetro alicate no cabo de descida do poste, a obtenção da resistividade através da técnica “T” e a obtenção da resistividade através da técnica “T” em conjunto com a técnica “Triângulo”.

Na aplicação destas técnicas, o operador deve ter certeza de que no poste em que a medição estará sendo realizada, o aterramento deve ser composto de apenas uma e somente uma haste. Na aplicação deste método deve existir um circuito fechado (laço) incluindo a resistência do aterramento que está sendo medido. A resistência do sistema de aterramento que fecha o laço deve ser muito menor que a resistência do aterramento sob medição.

1 Dr, Químico – LACTEC

2 Engenheiro Elétrico – COELBA

3 Dr, Químico – LACTEC

4 Engenheiro Elétrico – COELBA

5 Engenheiro Elétrico – COELBA

6 Engenheiro Elétrico - COELBA

7 Engenheiro Elétrico – CESP

A equipe técnica agradece:

À COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia); ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC; à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, pelo apoio recebido, confiança depositada, liberação de recursos financeiros e disponibilização da infra-estrutura, para a realização deste projeto de pesquisa. Também agradece ao profissionais da COELBA (Leandro Batista da Silva, Miguel Catarino Piedade Conceição e Jilson Raimundo de Jesus Meneses) pelo apoio técnico disponibilizado durante os serviços de campo e a todos aqueles profissionais que, de forma direta e indireta, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

Referências bibliográficas

- (1).NORMA ABNT – NBR 7117 – Medição da resistividade do solo pelo método dos quatro pontos (Wenner) – dezembro (1981) 15p.
- (2).SOTILLE A. C. – Protótipo de Medição de Malha de Terra em Subestações – Artigo Técnico – (2008) 10p.
- (3).Projeto Norma 03:102.01-003, Projeto para Aterramento de Sistemas de Distribuição – ABNT – COBEI, São Paulo, BR, (1993).