 Público	Tipo de Documento:	Orientação Técnica
	Área de Aplicação:	Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento:	Medição da Resistividade do Solo

Sumário

1.	OBJETIVO	1
2.	ÂMBITO DE APLICAÇÃO.....	1
2.1	Empresa.....	1
2.2	Área.....	1
3.	DEFINIÇÕES	1
4.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	6
5.	RESPONSABILIDADES	7
6.	REGRAS BÁSICAS	7
7.	CONTROLE DE REGISTROS.....	8
8.	ANEXOS	8
9.	REGISTRO DE ALTERAÇÕES	16
9.1	Colaboradores.....	16
9.2	Alterações	16

1. OBJETIVO

Estabelecer os procedimentos a serem seguidos no levantamento da resistividade do solo de determinado local, que servirá de base para o projeto do sistema de aterramento a ser instalado.

2. ÂMBITO DE APLICAÇÃO

2.1 Empresa

Distribuidoras do Grupo CPFL Energia.

2.2 Área

Engenharia, Operações de Campo, Obras e Manutenção, Suprimentos e Gestão de Ativos.

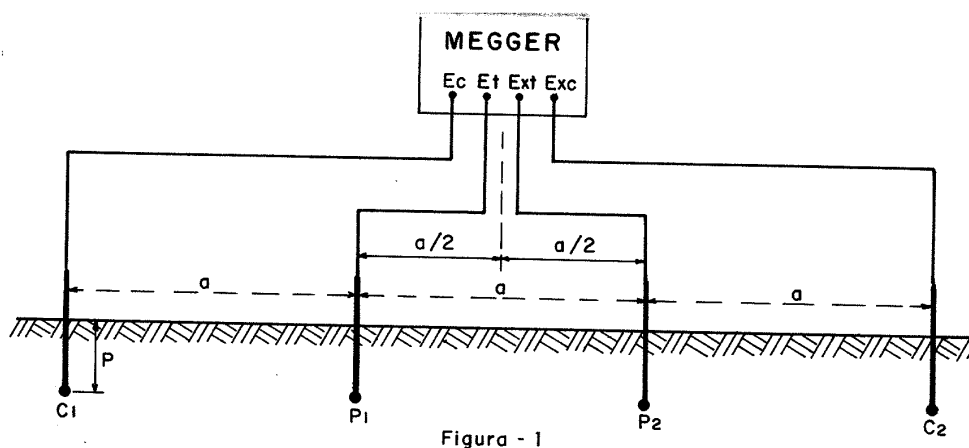
3. DEFINIÇÕES


MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO

3.1 O método adotado é o de Wenner, cuja configuração está apresentada na fig. 1, e tem as seguintes condições básicas:

- utilizar quatro eletrodos de prova
- os espaçamentos entre os eletrodos são iguais
- os eletrodos devem estar alinhados

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
708	Instrução	1.3	JOSE CARLOS FINOTO BUENO	15/05/2020	1 de 16



 Público	Tipo de Documento: Orientação Técnica
	Área de Aplicação: Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento: Medição da Resistividade do Solo

Durante o teste é feito circular uma corrente I entre os eletrodos externos e é medida a tensão V entre os eletrodos internos. A relação V/I fornece a resistência R que entra no cálculo da resistividade.

3.2 A resistividade levantada por esse método é dada pela equação:

$$\rho = \frac{4 \pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + p^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + p^2}}} \quad [\text{Eq. 1}]$$

onde:

a= espaçamentos entre os eletrodos em metros.

P= profundidade de instalação dos eletrodos em metros.

R= resistência medida no megger.

Observa –se que esta equação é aplicada a eletrodos pontuais enterrados no solo a uma profundidade “p” e interligados por condutores isolados. Na pratica, utilizando –se eletrodos em forma de haste, cravados no solo a uma profundidade tal que “ >20p”, a equação 1 se reduz a:

$\rho = 2\pi a R$ equação 2

onde será a resistividade medida do solo até a profundidade “a”.


3.3 Padronizando –se a profundidade de cravação de cada haste no solo em:

P = 30cm

A equação 2 acima será adota no cálculo da resistividade nos espaçamentos:

a > 4m

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
708	Instrução	1.3	JOSE CARLOS FINOTO BUENO	15/05/2020	3 de 16

 Público	Tipo de Documento:	Orientação Técnica
	Área de Aplicação:	Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento:	Medição da Resistividade do Solo

3.4 Para espaçamentos “a” iguais a quatro metros ou menores, procurando manter a profundidade de cravação das hastes igual a 30 cm, será obtida melhor precisão no levantamento da resistividade com o emprego da equação proposta.

$$\rho = \left[\frac{2 \pi p}{2 \ln \left[\frac{2 + E}{1 + F} \right] + 2 F - E - \frac{a}{p}} \right] R \quad [\text{Eq. 3}]$$

onde:

$$E = \sqrt{4 + (a/p)^2}$$

$$F = \sqrt{1 + (a/p)^2}$$

onde ρ , a , p e R conforme já definidos em 3.2.


3.5 O método de Wenner, conforme visto nos itens acima, permite o levantamento da resistividade média do solo até uma profundidade “a” igual ao espaçamento entre as hastes de prova. Como o solo é normalmente não homogêneo, ou seja, é constituído de camadas de diferentes composições geológicas, deverão ser feitas medições com vários espaçamentos entre as hastes de prova, para se obter as resistividades das várias camadas do subsolo. Os espaçamentos padronizados são:

$a = 1\text{m}$, $a = 2\text{m}$, $a = 4\text{m}$, $a = 8\text{m}$, $a = 16\text{m}$ e $a = 32\text{m}$.

A medição com espaçamento de um metro nos dará uma boa informação sobre a resistividade superficial do solo no local pesquisado.

3.6 Portanto, em resumo, as resistências R medidas com os espaçamentos $a = 1\text{m}$, $a = 2\text{m}$ e $a = 4\text{m}$ são aplicadas à equação 3 para se obter as resistividades até as profundidades 1m, 2m e 4m. As resistências R medidas com os espaçamentos $a = 8\text{m}$, $a = 16\text{m}$ e $a = 32\text{m}$ são aplicadas a equação 2 para se obter as resistividades até as profundidades 8m, 16m e 32m.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
708	Instrução	1.3	JOSE CARLOS FINOTO BUENO	15/05/2020	4 de 16

 Público	Tipo de Documento:	Orientação Técnica
	Área de Aplicação:	Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento:	Medição da Resistividade do Solo

LEVANTAMENTO DA CURVA DE RESISTIVIDADE DO SOLO – INTERPRETAÇÕES

As várias resistividades e os respectivos espaçamentos obtidos conforme gráficos abaixo, plotados num gráfico $\rho \times a$, indicam a existência das várias camadas do subsolo do local e dão uma ideia da sua composição geológica e respectivas resistividades e profundidades.

A curva “ $\rho \times a$ ”, analisada por métodos propostos por alguns autores, permite obter os parâmetros das camadas do subsolo (resistividades e espessura) e, em decorrência, o cálculo da resistividade aparente que participará do projeto do sistema de aterramento. Os métodos adotados na análise e utilização da curva “ $\rho \times a$ ” estão descritos na orientação técnica GED 2921 – Estratificação do solo e cálculo da resistência de aterramento.

A curva “ $\rho \times a$ ” indica a estrutura do solo. A tabela a seguir mostra a resistividade de vários tipos de solo:

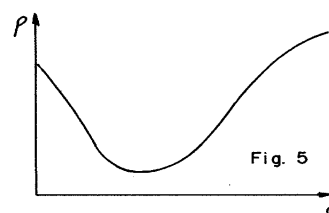
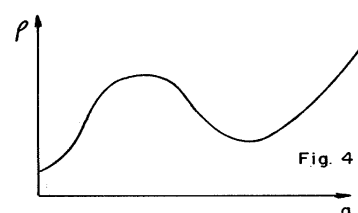
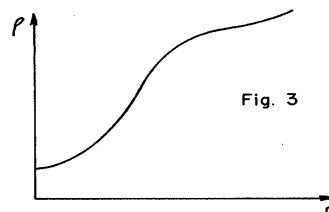
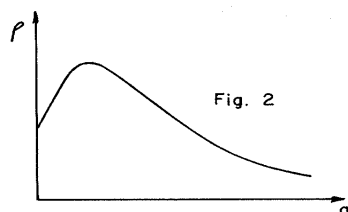
TIPO DE SOLO	RESISTIVIDADE ($\Omega \cdot M$)
Solos alagadiços, limo, humo, lama	Até 150
Solos aráveis, argiloso	50 a 500
Argila	300 a 5000
Areia	1000 a 8000
Calcário	500 a 5000
Granito e arenito	100 a 1000
basalto	1000 a 2000

Observa –se que nas medições na região da CPFL dificilmente serão obtidos valores superiores a 1000 $\Omega \cdot m$.

Os valores das resistividades do solo diminuem sensivelmente com o aumento da salinidade, da umidade e da temperatura, portanto, é importante registrar a época da medição e o estado de umidade do solo, normal, úmido, ou muito úmido para facilitar a avaliação dos valores medidos.

Algumas observações podem ser feitas a respeito dos prováveis tipos de curva “ $\rho \times a$ ”, obtidas das medições:

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
708	Instrução	1.3	JOSE CARLOS FINOTO BUENO	15/05/2020	5 de 16




- a curva da fig. 2 indica que a resistividade diminui rapidamente com a profundidade, e que o solo certamente possui duas camadas. Neste caso, o aterramento profundo poderá ser o mais adequado.
- a curva da fig. 3 indica que a resistividade aumenta com a profundidade e que o solo certamente possui duas camadas. Neste caso o aterramento profundo não será aplicado.
- As curvas das fig. 4 e 5 indicam que o solo deve ter três camadas ou mais, e não permitem uma ideia inicial sobre o sistema de aterramento mais adequado, o qual será determinado no projeto citado em 4.2 do Anexo I.

Mudanças bruscas nas curvas bem como nenhuma alteração em pelo menos três valores de “a” consecutivos, indicam a existência de interferências nas medições que podem ser causadas por: condutores enterrados no solo, sistemas de aterramento, cercas aterradas, torres de transição ou de comunicação, tubulações metálicas de água, gás, etc.

Quando forem obtidos valores de “ $\rho \times a$ ” superiores a $10000\Omega.m$ (item 4.3 do Anexo I) ou detectadas interferências (item 4.6), nova medição deverá ser feita na direção perpendicular à primeira medição. A nova medição poderá ser realizada também a uma distância mínima conforme indicado na figura 6.

4. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- IEEE Std 81 – 1983 – IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potential of Ground System;
- Relatório COD 3.2.22.02.1 – Critérios para aterramento de sistemas aéreos de distribuição;
- NBR 7117 – Medição da resistividade pelo método dos quatro pontos;

 Público	Tipo de Documento:	Orientação Técnica
	Área de Aplicação:	Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento:	Medição da Resistividade do Solo

- Earth Resistivity Measurements Using Cylindrical Electrodes at Short Spacings

R. Baishiki, C. Osterberg e F. Dawalibi – IEEE Transactions on Power Delivery, jan/ 87

5. RESPONSABILIDADES

A área de Engenharia de Normas e Padrões das distribuidoras do Grupo CPFL é a responsável pela publicação deste documento.

6. REGRAS BÁSICAS

VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CONTATO DAS HASTES DE PROVA

6.1. As resistências de contato das hastes com o solo podem influenciar as medições. Se as resistências de contato dos eletrodos de corrente forem muito elevadas, a corrente injetada no solo pelo equipamento de teste poderá não ser suficiente para sensibilizar o voltímetro em quaisquer das escalas do aparelho.

As resistências de contato dos eletrodos de tensão, por sua vez, não poderão ter valores comparáveis com a resistência interna do voltímetro. Se isso ocorrer, o valor indicado pelo aparelho estará completamente distorcido e, conseqüentemente a medição inaproveitável.

As resistências internas dos medidores de resistividade e resistência de aterramento mais comumente utilizados na CPFL são:

Megabrás: 1 k Ω

Instrum: 1 k Ω


Biddle: 1k Ω

Portanto sempre que surgirem dúvidas sobre a precisão das medições devido aos altos valores obtidos, deverá ser medida a resistência de contato da haste de tensão. Isso poderá ser feito de imediato no campo sem mudar a posição das hastes e dos cabos já montados para a medição da resistividade, utilizando o esquema seguinte onde mostra a medição da resistência de contato da haste.

6.2 A redução da resistência de contato de uma haste, pode ser conseguida da seguinte forma:

- jogar água em volta das hastes

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
708	Instrução	1.3	JOSE CARLOS FINOTO BUENO	15/05/2020	7 de 16

 Público	Tipo de Documento:	Orientação Técnica
	Área de Aplicação:	Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento:	Medição da Resistividade do Solo

- b) cravar hastes em paralelo(na mesma profundidade para facilitar o emprego da equação 3)
- c) utilizar mais uma haste, conectada ao borne GUARD do aparelho, se tiver esse recurso.

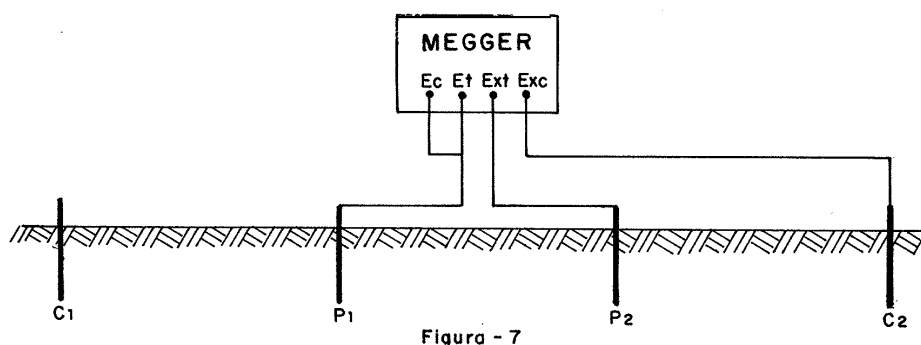
7. CONTROLE DE REGISTROS

Não se aplica.

8. ANEXOS

ANEXO I

MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO PELO MÉTODO DE WENNER POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS E UTILIZAÇÃO DOS CABOS



Ec e Exc: eletrodos de corrente

Et e Ext: eletrodos de tensão

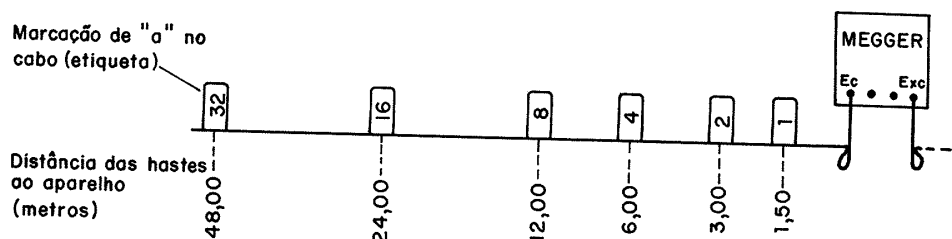
1. Condições exigidas no método de Wenner
 - as hastes de prova que constituem os eletrodos deverão ser cravadas no solo de forma alinhada
 - para cada medição, os espaçamentos entre as hastes deverão ser rigorosamente iguais.
2. Comprimentos dos cabos especificados pela distribuição da CPFL
 - 2 cabos de 18 metros para ligação dos elementos de tensão
 - 2 cabos de 50 metros para ligação dos eletrodos de corrente.
3. Distâncias de cravação dos eletrodos no solo, com as hastes de prova alinhadas:

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
708	Instrução	1.3	JOSE CARLOS FINOTO BUENO	15/05/2020	8 de 16

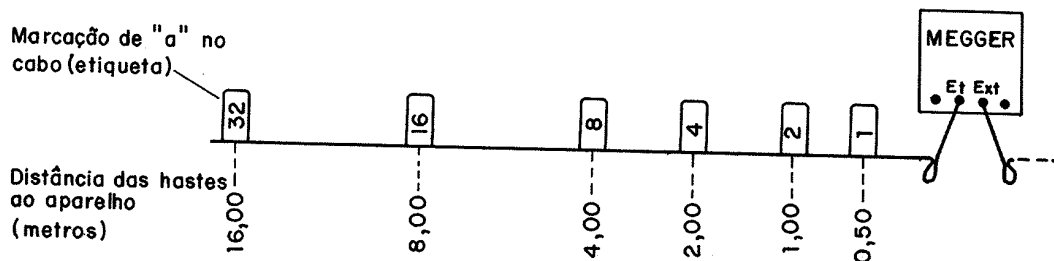
DISTANCIAS ENTRE ELETRODOS	DISTANCIAS DOS ELETRODOS AO CENTRO DOS APARELHO	
A	At	Ac
1	0,50	1,50
2	1,00	3,00
4	2,00	6,00
8	4,00	12,00
16	8,00	24,00
32	16,00	48,00

4. Sugestão de marcações nos cabos, através de etiquetas adesivas, para facilitar as medições no campo:

4.1 Cabo de 50 metros para os eletrodos de corrente:

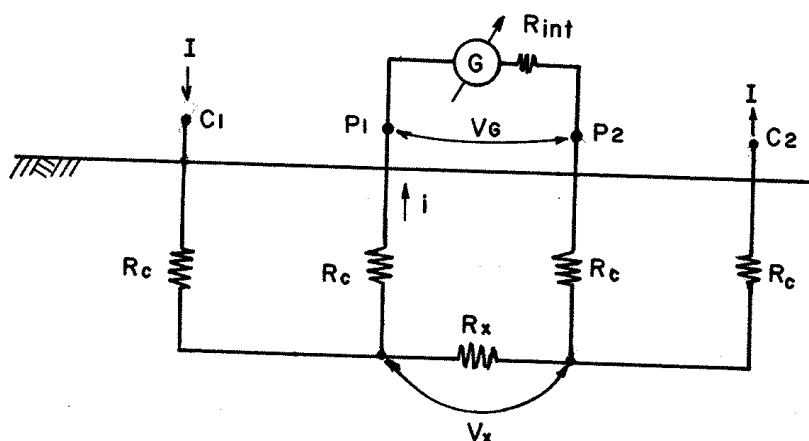



4.2 Cabo de 18 metros para os eletrodos de tensão:



4.3 Sugestão de método de medição utilizando os cabos com as marcações indicadas nos itens acima;

- colocar o aparelho de medição de preferência na posição onde estará o centro do futuro sistema de aterramento
- esticar os quatro cabos que ligam o aparelho às hastes de prova de corrente e de tensão, de tal forma que os cabos fiquem completamente estendidos e alinhados conforme a fig. 1. Conectar as extremidades dos cabos relativas ao aparelho nos bornes correspondentes.
- fincar as hastes de prova correspondentes aos eletrodos de corrente e de tensão nas posições indicadas pelas etiquetas dos cabos relativas ao espaçamento $a = 32$ m. Prestar atenção para que as hastes estejam no mesmo alinhamento. A profundidade de cravação de cada haste é de 30cm.
- Conectar as extremidades dos cabos nas respectivas hastes de prova, verificando se o contato está bem feito conforme as instruções do aparelho.
- Efetuar as medições relativas aos espaçamentos $a = 16$ m, $a = 8$ m, $a = 4$ m, $a = 2$ m e $a = 1$ m, retirando e refincando as hastes nas respectivas posições indicadas nas etiquetas, verificando sempre o alinhamento das haste e a efetividade do contato haste/ cabo. O aparelho de medição deverá permanecer sempre no mesmo lugar. A profundidade de cravação das haste é de 30cm para qualquer espaçamento.
- Lançar os valores das resistências R medidas, nos campos correspondentes do formulário MRS – Medição de Resistividade do Solo.



 Público	Tipo de Documento:	Orientação Técnica
	Área de Aplicação:	Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento:	Medição da Resistividade do Solo

ANEXO II

ESPECIFICAÇÃO DO FORMULÁRIO MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE DO SOLO

1. FINALIDADE

Coletar os dados de campo sobre a resistividade do solo num determinado local, que servirão de base para o projeto do sistema de aterramento e a constituição de banco de dados conforme orientação técnica.

2. OCASIÃO DA EMISSÃO

- Durante o projeto de instalação de equipamentos da classe 15 kV no rural, conforme orientação técnica 185 – Aterramentos na Distribuição, ou sempre que for necessário elaborar projetos de aterramento.
- Será de todo conveniente que o formulário seja preenchido no campo, durante a medição para que no caso de problemas como os citados nesta orientação técnica, a medição possa ser refeita de imediato.

3. EMITENTE

Área de projetos – Obras & Manutenção.


4. PROCESSO DE EMISSÃO

Manuscrito

5. NUMERAÇÃO

Sequencial e própria de cada órgão emitente. Essa numeração será usada como referência em todo o processo do projeto de aterramento.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
708	Instrução	1.3	JOSE CARLOS FINOTO BUENO	15/05/2020	11 de 16

 Público	Tipo de Documento:	Orientação Técnica
	Área de Aplicação:	Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento:	Medição da Resistividade do Solo

6. MODO DE PREENCHIMENTO

6.1 Cabeçalho

Autoexplicativo. Todos os campos deverão ser obrigatoriamente preenchidos, para a perfeita indicação do projeto e local. As coordenadas UTM da área rural serão obtidas na base GISD (fonte IBGE).

6.2 Condições do solo

Autoexplicativo. Lembrar que não é possível fazer medição em locais alagados ou encharcados, nem durante ou imediatamente após chuvas excessivas. Item 6.7 do Anexo I.

6.3 Tabela – Coluna R

Anotar os valores de resistência indicados no equipamento de medição relativos a cada espaçamento “a” entre eletrodos.

Coluna ρ :

Para cada valor de “a” efetuar a multiplicação dos respectivos fatores “f” e valor “R”. Avaliar os resultados obtidos para de acordo com esta OTD.

6.4 Gráfico “ ρ ” x a”

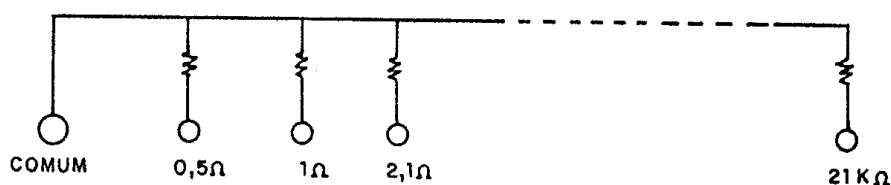
Plotar os valores de “ ρ ” x a” utilizando, se preciso, uma escala diferente da indicada no papel bi – log.

No próprio campo, durante a medição, procurar traçar manualmente a curva representativa desses pontos, para que se for constatada alguma discrepância, a medição possa ser verificada ou refeita no momento.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
708	Instrução	1.3	JOSE CARLOS FINOTO BUENO	15/05/2020	12 de 16

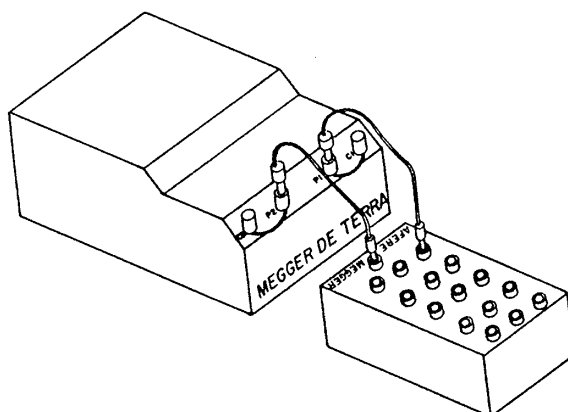
ANEXO III**AFERIDOR DE MEGGER DE TERRA**

- trata-se de uma caixa com resistores de precisão e valores conhecidos, dispostos da seguinte forma:



- sua função é a de permitir verificar em campo se o aparelho está indicando corretamente os valores medidos.
- procedimentos para aferir o aparelho

1. curto circuitar os bornes C1 (Ec) com P1 (Et) e C2 (Exc) com P2 (Ext);
2. conectar os pinos bananas no aferidor, sendo que um pino é conectado no ponto comum e outro no ponto correspondente ao valor de interesse;
3. conectar os pinos bananas no aparelho, sendo que um pino é conectado no terminal P1 (Et) ou C1 (Ec) e outro é conectado no terminal P2 (Ext) ou C2 (Exc);
4. calibrar, no caso de aparelhos que tenham a função “CAL” e executar a leitura (medição do valor em teste)
5. escolher dois valores de interesse no aferidor, um valor para 20% da escala em uso e outro para 80% da escala. Ex : Numa escala 0 – 50, escolhemos o valor (0.8 x 50=40) próximo a 40 ohms e o valor (0.2 x 50 = 10) próximo a 10 ohms;
6. caso o erro seja maior do que 2,5%, o usuário deverá enviar para a manutenção.





Público

Tipo de Documento: Orientação Técnica
Área de Aplicação: Engenharia de Normas e Padrões
Título do Documento: Medição da Resistividade do Solo

CPFL

Regional

Distrito

Localidade

Medição de Resistividade do Solo

Mês/Ano

Nº

Coordenadas

S/E

Alimentador/Linha

Equipamento

Proximidade de neutro
11 Nã metros

Condição do Solo

Muito Úmido

Úmido

Normal

Seco

Plano

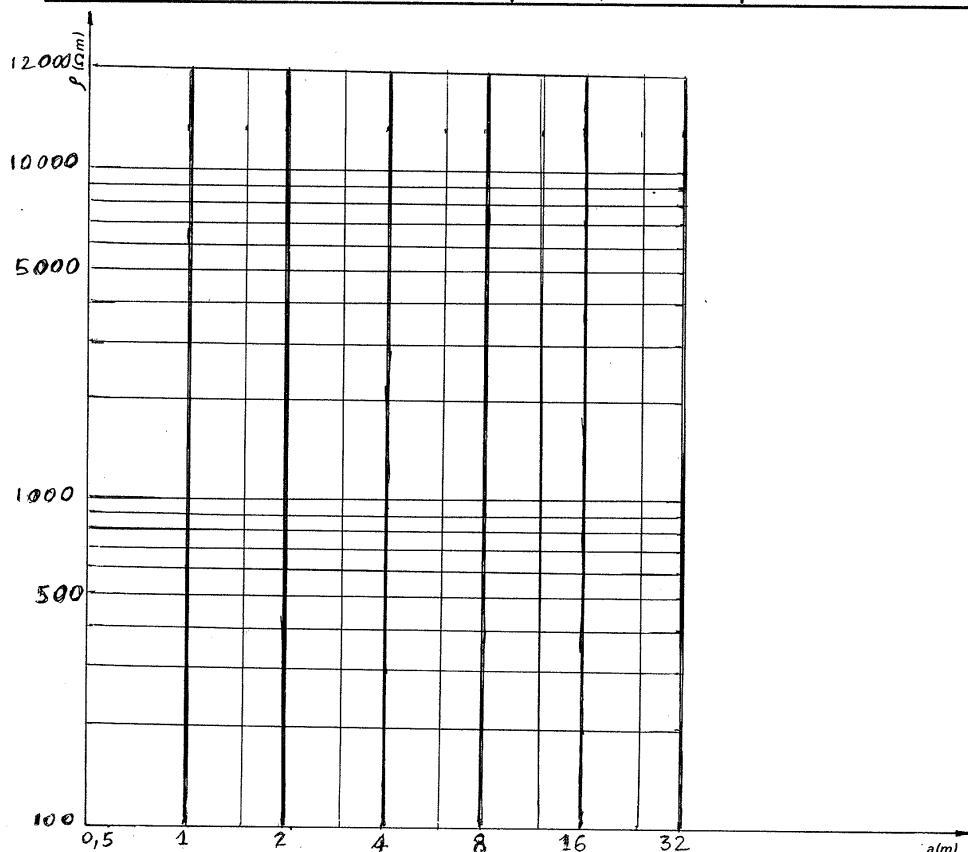
Montanhoso com % de Inclinação


a (m)

R (Ω)

f. multiplicador $\rho = f \times R$ (a.m)

1		6,59	
2		12,73	
4		25,20	
8		50,24	
16		100,50	
32		201,00	



 Público	Tipo de Documento: Orientação Técnica
	Área de Aplicação: Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento: Medição da Resistividade do Solo

FORMULÁRIO PARA MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE DO SOLO

Cidade: _____ Empresa: _____

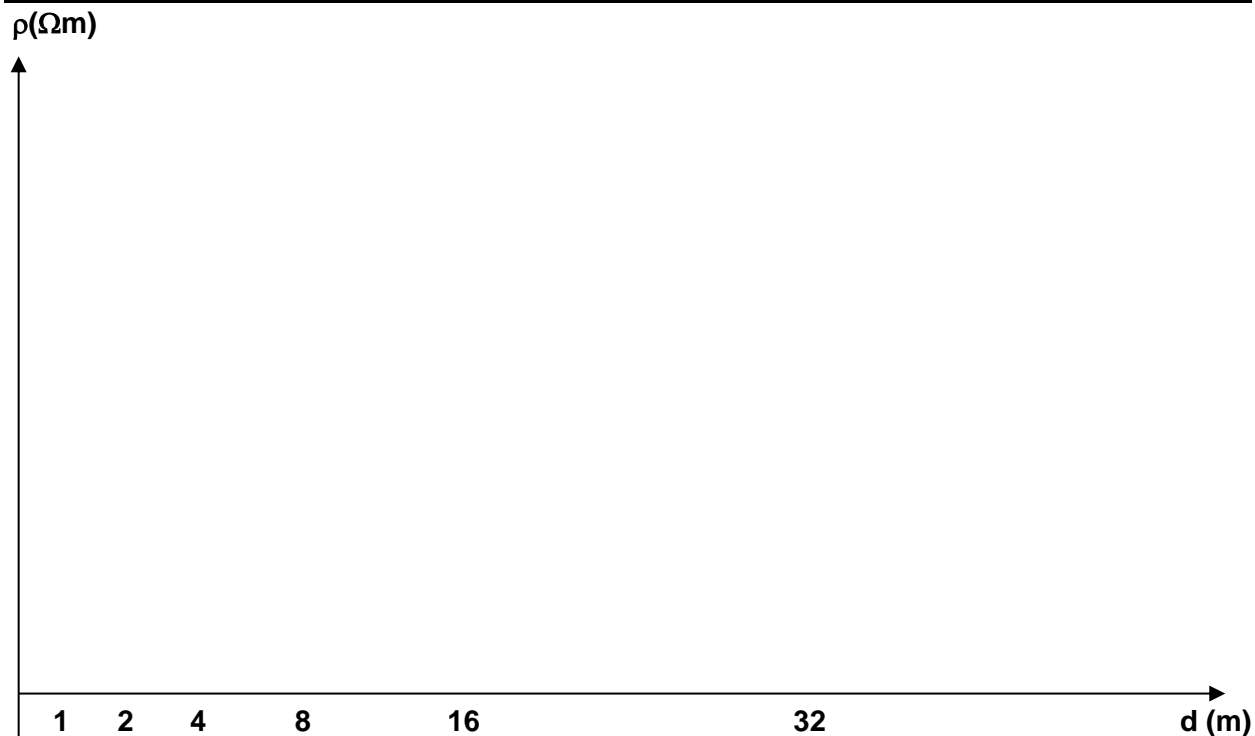
Local da cidade: _____

Data: / / Hora: _____


Condições do solo: _____

Muito úmido | | úmido | | normal | | seco | |

Espaçamento entre Hastes d(m)	Medição (Ω)	Multiplicador (2πd)	Resistividade $\rho = 2\pi d R(\Omega m)$
1		6,28	
2		12,56	
4		25,12	
8		50,24	
16		100,50	
32		201,00	



Cabo de 50 metros para os eletrodos de corrente

 Público	Tipo de Documento:	Orientação Técnica
	Área de Aplicação:	Engenharia de Normas e Padrões
	Título do Documento:	Medição da Resistividade do Solo

9. REGISTRO DE ALTERAÇÕES

9.1 Colaboradores

Empresa	Área	Nome
CPFL Paulista	REDN	Marcelo de Moraes
CPFL Piratininga	REDN	Antônio Carlos de Almeida Cannabrava
CPFL Santa Cruz	REDN	Marcio de Castro Mariano Silva
RGE	REDP	Albino Marcelo Redmann

9.2 Alterações

Versão Anterior	Data da Versão Anterior	Alterações em relação à Versão Anterior
1.0	24/04/2001	Unificação/revisão desta orientação técnica para a CPFL Paulista, CPFL Piratininga, CPFL Santa Cruz e CPFL Jaguariúna.
1.1	26/02/2009	Unificação/revisão desta orientação técnica para a CPFL Paulista, CPFL Piratininga, CPFL Santa Cruz, CPFL Jaguariúna e RGE.
1.2	18/03/2019	O conteúdo deste documento foi revisado nesta data e nenhuma modificação se fez necessária. A formatação foi atualizada conforme norma interna vigente.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
708	Instrução	1.3	JOSE CARLOS FINOTO BUENO	15/05/2020	16 de 16