RESUMO

Este documento,que é uma norma técnica, apresenta o método de eletrorresistividade para ensaios geofísicos, definindo campo de aplicação, conceituações, aparelhagem e execução de ensaio, assim como a obtenção e interpretação dos resultados.

ABSTRACT

This document presents the method of electroresistivity for geophysical methods defining the field application, concepts, apparatus and test execution and also the obtention and interpretation of results.

SUMÁRIO

0 Apresentação

1 Objetivo

2 Referências

3 Definições

4 Aparelhagem

5 Execução de ensaio

6 Resultados

7 Interpretação dos resultados

Anexo normativo A

Anexo normativo B

Anexo informativo

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Macrodescritores MT: ensaio, ensaio de campo, geofísica

Microdescritores DNER: ensaio, ensaio de campo, geofísica, sondagem

Palavras-chave IRRD/IPR: ensaio (6255), geofísica (5742), prospecção (5722), sondagem (5720)

Descritores SINORTEC: ensaio in situ, sondagem de solo

Aprovada pelo Conselho Administrativo em 20/12/95	Autor: DNER/DrDTc (IPR)
Resolução nº 165/95, Sessão nº CA/44/95	Revisão e adaptação da DNER-ME 040/79
Processo nº 20100058296/77-1	à DNER-PRO 101/93.

0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-ME 040/79 à DNER-PRO 101/93, fazendo-se alterações e/ou inserções, julgadas necessárias.

1 OBJETIVO

Esta Norma estabelece critérios básicos para execução e interpretação de ensaios geofísicos pelo método da eletrorresistividade (ou elétrico). O método de prospecção geofísica baseado na resistividade elétrica é utilizado no campo da engenharia civil com as seguintes finalidades:

a) prospecção e cubagem de áreas de empréstimo e jazidas com a caracterização da textura e dos volumes disponíveis em um determinado local,

b) estudo de locais de pedreira;

c) prospecção de zonas favoráveis à ocorrência de água subterrânea;

d) estudo de zonas do terreno em processo de ruptura e da ocorrência de depósitos de talús;

e) na definição de características geológicas do subsolo como: profundidade dos contatos solo, rocha alternada, rocha sã, ocorrência do lençol freático ou zona de saturação, presença de estratos, estruturas tectônicas e zonas mais fraturadas, estruturas cársticas em áreas calcárias;

f) problemas de fundação em geral;

g) definir aterramento para instalação de estruturas em linhas de transmissão.

2 REFERÊNCIA

2.1 Referência Bibliográfica

No preparo desta Norma foram consultados o seguintes documentos:

a) DNER-ME 040/79, designada Prospecção geofísica pelo método de eletrorresistividade.

b) ABGE - Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia - Geofísica - 1° edição - 1975 - São Paulo.

c) Minette, Enivaldo - Geofísica aplicada - Universidade Federal de Viçosa - 1984 - Viçosa - MG.

d) Heiland, C.A. Sc.D - Geophysical exploration - New York - 1946.

e) Dobrin, Milton B. - Introduccion a la prospeccion geofísica - ediciones Omega, S.A. - Barcelona, 1961.

f) AASHTO, Manual on subsurface investigations - 1988, Washington, D.C. - 1988.

g) ELE International - Civil and environmental engineering test equipment - 9th editon catalogue.

h) Bertrand, Y, - Bulletin de liaison des laboratoires routiers, 1967, Paris.

3 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma, são adotadas as definições de (3.1) a (3.6):

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

3.1 Método de Eletrorresistividade

O método da eletrorresistividade para prospecção geofísica, fundamentado no fato de que, geralmente, litologias diferentes apresentam, resistividades diferentes, consiste na aplicação de uma corrente elétrica ao subsolo, criando-se artificialmente potenciais cuja distribuição relaciona-se às características do local e às propriedades físicas dos materiais.

Por esse meio determina-se a variação de resistividade elétrica nos terrenos atravessados pela prospecção, em um ou vários pontos da superfície, e sua repetição, segundo a profundidade.

3.2 Resistividade Aparente ρa (ohm.metro)

A resistividade aparente (ρa) de um terreno é igual à resistividade de um meio homogêneo ao qual se tenha aplicado, por hipótese, um mesmo dispositivo de medição e encontrado os mesmos valores de diferença de potencial (Δv) e intensidade de corrente (I) obtido no primeiro meio.

Para realizar a operação, emprega-se um dispositivo de medição formado por quatro eletrodos e faz-se passar através do meio, entre os eletrodos de emissão de corrente A e B (Anexo A - Figura 1), uma corrente de intensidade (I) conhecida. Mede-se a diferença, (Δv), entre dois eletrodos de potencial M e N.

Calcula-se o valor da resistividade aparente através da fórmula:

$$\rho a = K \cdot \frac{\Delta v}{I}$$

K (m)
V (miliVolt)
I (miliAmpère)

onde:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

K (um coeficiente linear expresso em metros) depende apenas da configuração geométrica do dispositivo de medida.

3.3 Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

Denomina-se sondagem elétrica vertical ao arranjo que permite a determinação dos valores de resistividade aparente em função da profundidade.

A sondagem elétrica vertical é executada fazendo-se determinações de resistividade aparentes (ρa) com vários comprimentos da linha AB de emissão de corrente elétrica, mantendo fixo o centro (O) do dispositivo de medida.

3.4 O Arranjo de Lee

O Arranjo de Lee é semelhante ao dispositivo de Wenner (equidistância de eletrodos), com a diferença que se situa um eletrodo de medida no ponto central, fazendo-se leituras entre o eletrodo central e um dos eletrodos de potencia laterais. Com esse tipo de arranjo pode-se detectar a presença de irregularidades laterais, traçando-se curvas de resistividades em função do espaçamento, tanto pelo lado esquerdo, quanto pelo lado direito. Se as condições do terreno são as mesmas a direita e à esquerda, as curvas, também o serão.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

3.5 Arranjo de Retângulo

O Arranjo Retângulo semelhante ao dispositivo de Schllumberger, mantendo constante a distância AB da linha de emissão da corrente elétrica. A distância MN é geralmente pequena, variando entre AB/50 e AB/25, permitindo a realização de grande número de medições sem movimentação dos eletrodo de corrente (A e B). Os resultados obtidos através da aplicação do retângulo da resistividade deverão ser anotados conforme as Tabelas 1 e 3 do Anexo B.

3.6 Resistividade em Furos e Sondagem

A medida da resistividade executada em furos de sondagem mecânica, consiste numa perfilagem elétrica, realizada através dos métodos de "resistividade em furo de sondagem com arranjo de um ponto" e pelo método do potencial espontâneo. (Anexo A - Figura 7)

4 APARELHAGEM

A aparelhagem para ensaio consiste, basicamente, de uma fonte de corrente contínua, ou alternada que, por meio de dois eletrodos, injeta no terreno uma corrente elétrica de intensidade connhecida, assim como de um dispositivo que mede, entre dois outros eletrodos, a diferença de potencial obtida.

O tipo de aparelhagem para um ensaio deve ser escolhido em função da profundidade máxima de investigação desejada, levando-se em conta que a intensidade da corrente elétrica que penetrará nos terrenos depende da grandeza das resistividades elétricas dos mesmos, de modo a garantir uma precisão da resistividade aparente não inferior a 10%.

Quando do uso de corrente alternada, será necessário comprovar, por meio independente, uma profundidade de penetração mínima exigida.

O efeito de eventuais "fugas" deverá ser limitado a uma contribuição sobre os potenciais(Δv) não superior a 10% pela construção de aparelhagem e/ou técnica de operação adequada.

5 EXECUÇÃO DO ENSAIO

Tanto para sondagem vertical (SEV), quanto para o caminhamento elétrico, recomenda-se a utilização dos arranjos de Wenner e de Schllumberger, caracterizados por empregarem dispositivos simétricos de eletrodos.

5.1 Arranjo Wenner (Ver Anexos Normativo A, Figura 2 e Informativo, Figuras 2 e 3)

Neste dispositivo deve-se manter-se igual o espaçamento entre os quatro eletrodos conforme o Anexo A - Figura 2, isto é:

$$\overline{AM} = \overline{MN} = \overline{NB} = 1/3\ \overline{AB}$$

A resistividade aparente é calculada por meio da expressão:

$$\rho a = \frac{\Delta v}{I} \cdot K$$

onde:

$$K = 2\pi \cdot 2b = 4\pi \cdot b$$

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

5.2 Arranjo Schllumberger

Neste dispositivo, o espaçamento entre eletrodos deve obedecer à relação $\overline{AB}/\overline{MN} \geq 5$, podendo utilizar exclusivamente nas primeiras medições de SEV até a relação $\overline{AB}/\overline{MN} = 3$ (Ver Figura 3 e Tabela do Anexo Normativo).

A resistividade aparente é calculada por meio da expressão:

$$\rho a = \frac{\Delta v}{I} \cdot K$$

onde:

$$K = 2\pi \cdot \frac{(a^2 - b^2)}{4b}$$

Quando a investigação é realizada com a utilização do dispositivo simétrico de Schllumberger, normalmente em determinados estágios de desenvolvimento do ensaio será necessário aumentar também o espaçamento entre os eletrodos de potencial M e N. Neste caso deverá haver superposição de 2 (duas) leituras com o espaçamento $\overline{MN}$ anteriormente usado e o novo - "Embreagem". A união entre os vários ramos da curva, correspondente às leituras efetuadas com diferentes espaçamentos $\overline{MN}$, será feita como indicado no Anexo A - Figura 4. Critérios adequados deverão ser estabelecidos para garantir, em cada caso, penetração e cobertura superficial apropriada.

Para a posição relativa dos eletrodos é recomendado o uso da Tabela 1 - Anexo B, Arranjo Schllumberger/ Retângulo.

5.3 Arranjo Lee (Ver Anexo Informativo, Figuras 2 e 3)

A resistividade aparente é calculada por meio da expressão:

$$\rho a = \frac{\Delta v}{I} \cdot K$$

onde:

$$K = 6.\pi.a$$

5.4 Arranjo de Retângulo

Para o cálculo de ρa usa-se o mesmo valor de K do arranjo Schllumberger.

5.5 Resistividade em furos de sondagens

O valor de K é tirado da Figura 7 do Anexo B onde:

$$\rho a = \frac{\Delta v}{I} \cdot K \quad \text{e}$$

$$K = 4.\pi \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 - r_2}$$

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

6 RESULTADOS

6.1 Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

Os resultados das sondagens elétrica vertical (SEV) devem ser anotados em boletins que tenham o conteúdo mínimo de informações contidas no modelo da Tabela 2 do Anexo B, que serão apresentados juntamente com a curva de resistividade aparente e a interpretação contendo as resistividades obtidas à profundidades correspondentes a cada camada (Ver Anexo Informativo; Figuras 1 e Tabela de resistividade).

Deverá se utilizada, para apresentação das curvas de resistividade aparente, escala bilogarítmica com módulo de 62,5 mm por ciclo de 10.

7 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A interpretação dos resultados dos ensaios de eletrorrestividade é feita sobre um diagrama traçado em escala bilogarítmica, onde são colocados, em ordenadas, valores da ρa (em ohm.m) e, em abcissas, os valores de AB/2 (em metros).

A interpretação destes diagramas é feita comparando-os com curvas teóricas calculadas, por via matemática ou por meio de ensaios em modelo reduzido, por uma série de padrões de estruturas geológicas estabelecidas.

Deve-se ter sempre presente que a coincidência de curvas obtidas no campo e as teóricas é condição necessária, porém não suficiente para a validade de interpretação.

A interpretação da seqüência de valores de resistividade aparente obtido nos ensaios tem apenas caráter qualitativo. Deve portanto, ser elaborada uma medição paramétrica de resistividade elétrica, visando à confecção de tabela que correlacione estes valores com o estado físico dos terrenos. Essa medição paramétrica é elaborada com base nos resultados obtidos em alguma sondagens mecânicas com amostragem, locadas estrategicamente na área investigada, ou por meio de execução de uma sondagem elétrica vertical junto de uma sondagem com amostragem preexistente.

A perfilagem dos furos de sondagem paramétrica poderá ser subsídio valioso para a correlação dos parâmetros geológicos e geofísicos.

No caso da constatação de pertubação no diagrama de sondagens elétricas, decorrentes da geometria dos estratos, recomenda-se a execução de sondagens cruzadas.

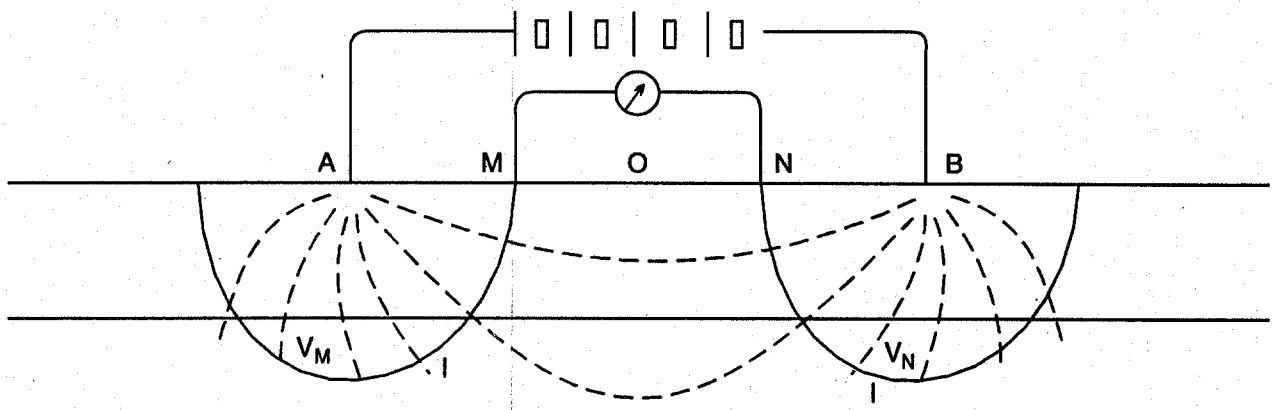
O produto final da interpretação dos ensaios deverá ser apresentado sob a forma de um perfil e/ou mapa esquemático das camadas encontradas, como ilustra o Anexo A - Figura 5 e 6.

Poderão também serem utilizados software compatíveis com o tipo de arranjo utilizado na prospecção, como ferramenta auxiliar para a obtenção e/ou interpretação dos resultados.

/Anexos

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

ANEXO NORMATIVO A - FIGURAS



$\Delta V = V_M - V_N$
ΔV = Diferença de Potencial
V_M = Potencial no Eletrodo M
V_N = Potencial no Eletrodo N
I = Intensidade de Corrente em Ampere
V = Voltagem em VOLTS

Figura 1

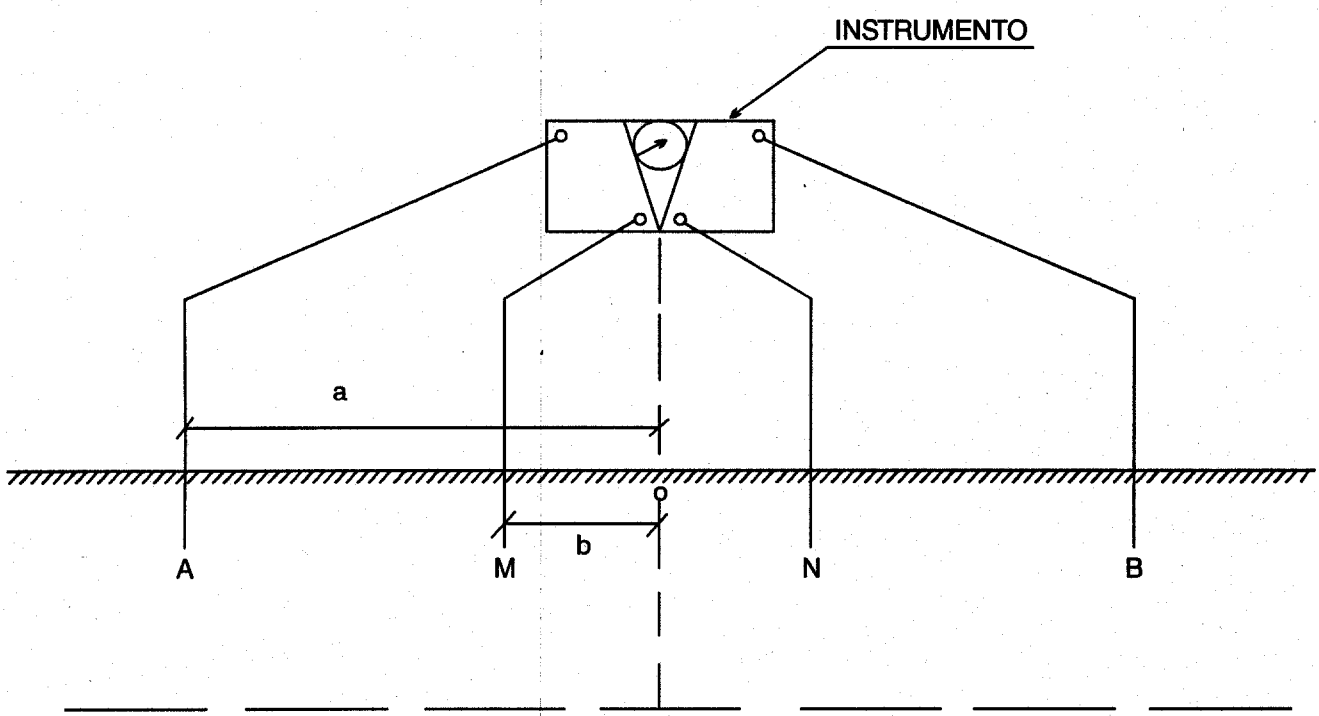


Figura 2

Arranjo Wenner

Figura 3,4

Arranjo Schllumberger

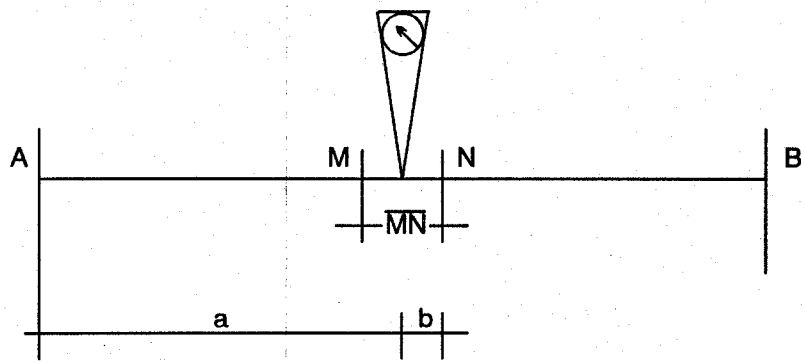


Figura 3

Configuração de Embreagem

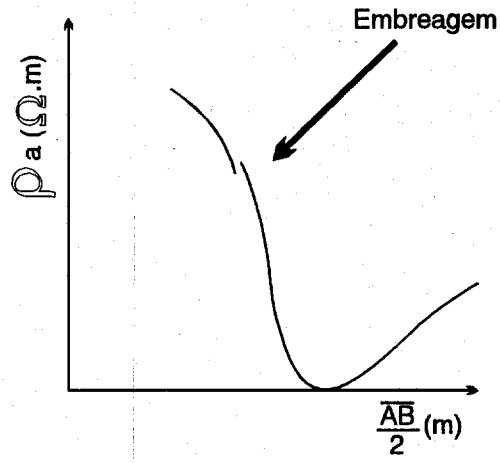
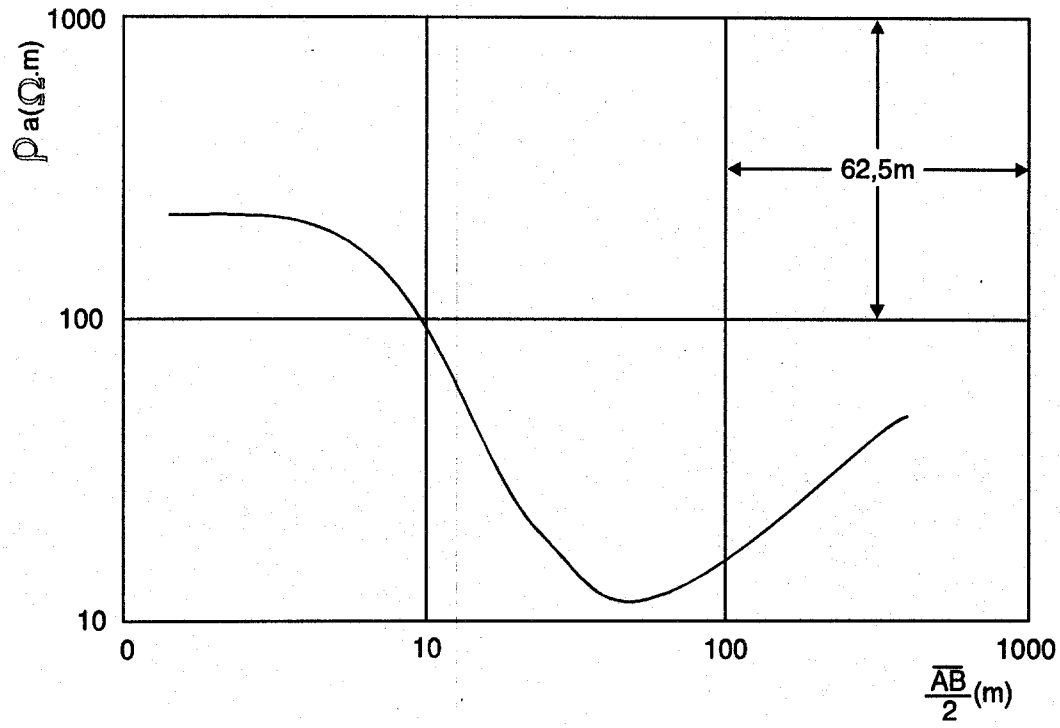


Figura 4

Figura 5,6



CURVA DE RESISTIVIDADE APARENTE

Figura 5 - PERFIL DE ELETRORESISTIVIDADE

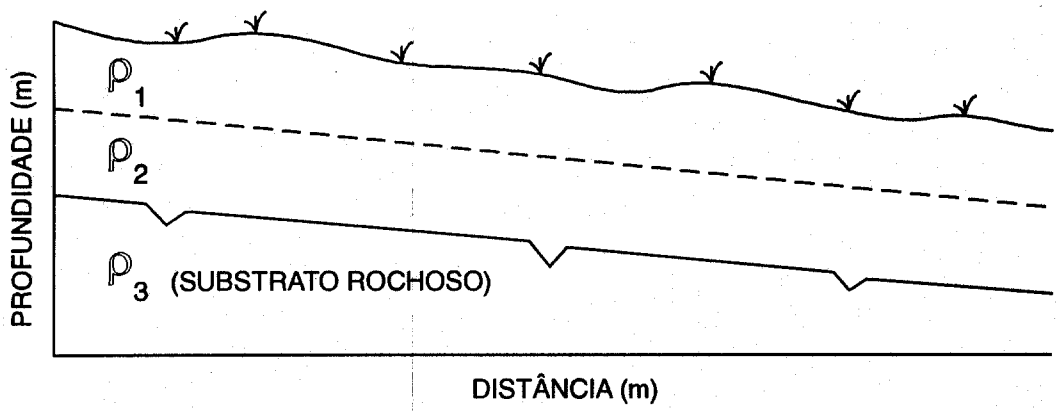
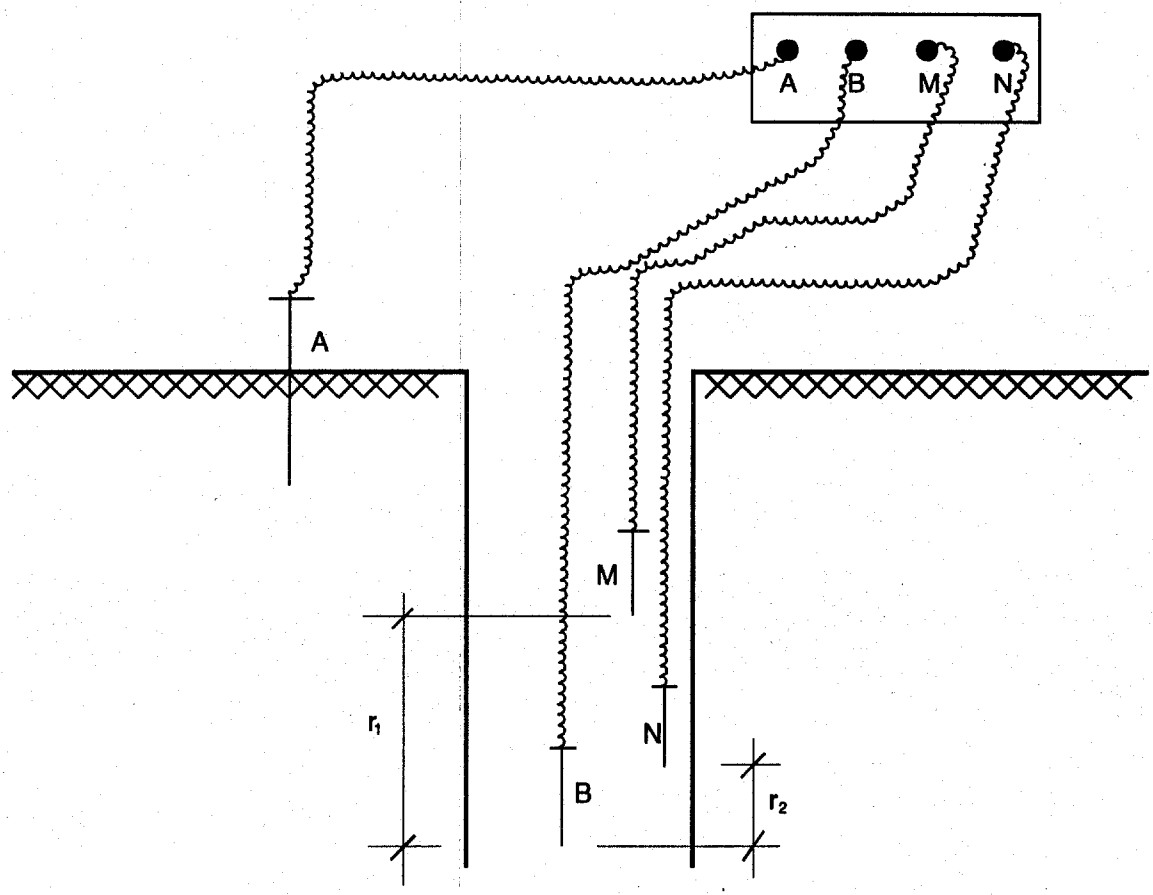


Figura 6 - PERFIL DO TERRENO

Figura 7

Resistividade em Furo de Sondagem



$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

$$K = 4\pi \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 - r_2}$$

r_1 = Camada ou Intervalo de Profundidade (Estágio)

Figura 7

TABELA 1 - SONDAGEM **GEOELÉTRICA**
ARRANJOS SCHLLUMBERGER / RETÂNGULO

S.E.: _____ DATA: ____ / ____ / ____ OPERADOR: _____

LOCAL: _____ PROJETO: _____ VISTO: _____

ESTACA: _____ EQUIPE: _____

Nº	AB/2	MN	K	U	I	ΔV	ρa
	m	m	m	V	m A	m V	Ω.m
1	1	0,6	4,76				
2	1,5	0,6	11,3				
3	2	0,6	20,5				
4	3	0,6	46,7				
5	4	0,6	83,3				
6	5	0,6	130				
7	5	2	37,7				
8	7	0,6	256				
9	7	2	75,4				
10	10	2	155				
11	15	2	352				
12	15	6	113				
13	20	2	627				
14	20	6	205				
15	30	6	467				
16	40	6	833				
17	60	6	1880				
18	60	20	550				
19	80	6	3340				
20	80	20	990				
21	100	20	1550				
22	150	20	3520				
23	150	60	1130				
24	200	20	6270				
25	200	60	2050				
26	250	60	3220				
27	300	60	4660				
28	400	60	8330				
29	500	60	13000				
30							

DESCONEXÃO	Δ V (m V)	I (m A)	U (V)
BORNE A			
BORNE B			
LINHA A			
LINHA B			

OBSERVAÇÕES:

TABELA 2

TABELA 2 - PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

SONDAGEM GEOELÉTRICA

DATA	LOCALIZAÇÃO	SONDAGEM ELÉTRICA Nº	DISPOSITIVO
	CARTA		
OPERADOR	LOCAL		
	COORDENADAS DA ESTACA 0		

AB/2	MN	CORRENTE						k	Ω.m	OBSERVAÇÕES
		ESCALA	LEITURA	m A	ESCALA	LEITURA	m V			

TABELA 3

TABELA 3 - PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

Retângulo de Resistividade

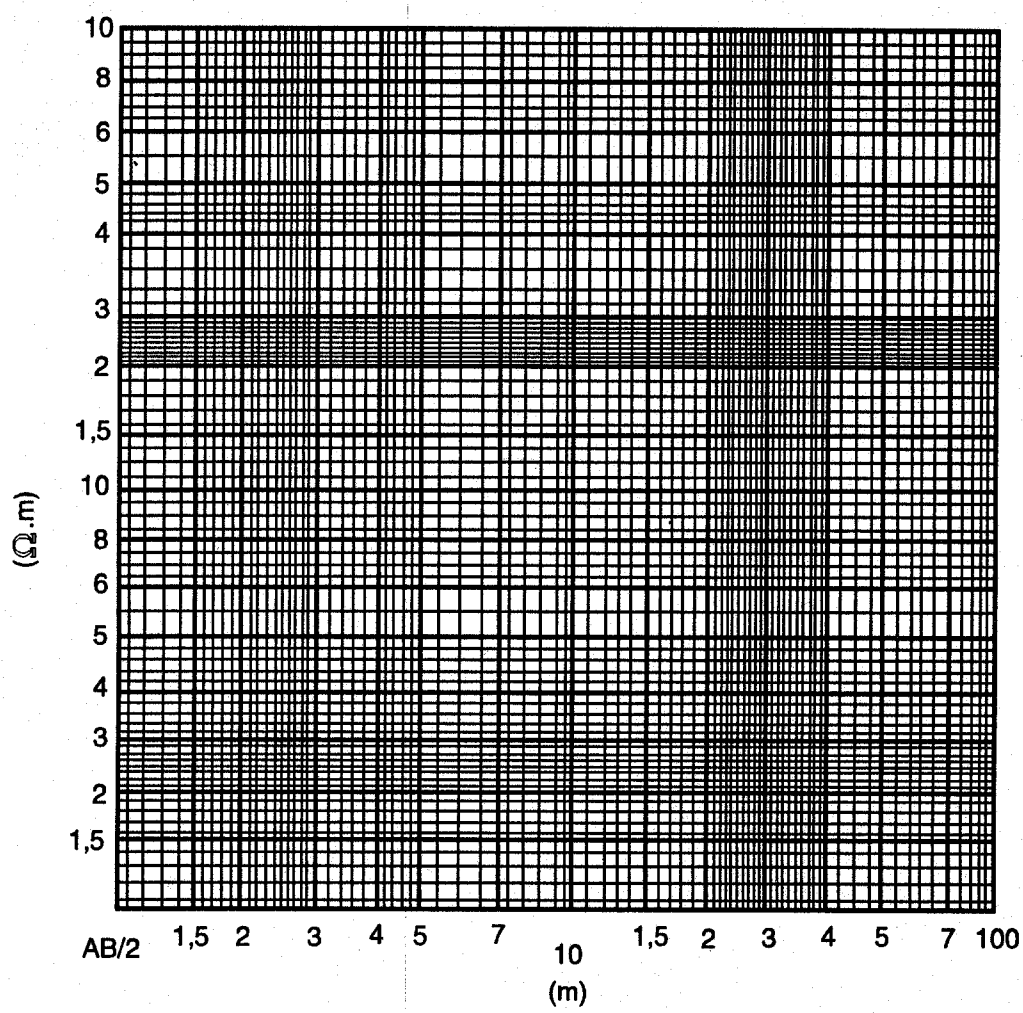
DATA	LOCALIZAÇÃO	LINHA	AB =	DISPOSITIVO
	CARTA		MN =	
OPERADOR	LOCAL		K =	
	COORDENADAS DA ESTACA 0			

REFERÊNCIA	ESTAÇÃO	INTENSIDADE			VOLTAGEM			Ω.m	OBSERVAÇÕES
		ESCALA	LEITURA	m. A	ESCALA	LEITURA	m. V		

SONDAGEM GEOELÉTRICA

S E:_____ LOCAL: _____ ESTACA: _____ DATA: ___/___/___

PROJETO:_____ EQUIPE:_____ OPERADOR:_____ VISTO:_____



OBSERVAÇÕES

Figura 1

TABELA 1

TABELA ORIENTATIVA DE RESISTIVIDADE

MATERIAL	RESISTIVIDADE
Mica	10^8 a 10^{13}
Salgema Seca	10^3 a 10^{13}
Salgema Ümida	5×10^{-2} a 20×10^{-2}
Calcita	5 a 10^{12}
Quartzo	10^{12}
Granito Seco	10^6 a 10^9
Granitos	5×10^3 a 10^6
Arenito Seco	10^4 a 10^8
Arenitos	35 a 4×10^3
Limonita	10^5
Calcários	12×10 a 4×10^2
Calcários Secos	10^3 a 10^4
Calcarios Úmidos	5×10 a 5×10^2
Mineral de Pirita Seco	10 a 10^2
Mineral de Pirita Úmido	10^{-3} a 10
Calcopirita	10^{-3} a 10^{-2}
Calcopirita Úmida	10^{-5} a 10^{-4}
Magnetita	1 a 10^3
Galena	1 a 3×10^4
Marga Seca	5×10 a 10^2
Marga Úmida	1 a 10
Argilas	50×10 a 10^2
Argila Seca	8×10
Argila Úmida	10^{-1} a 1
Grafita	3×10^{-4}
Cobre	$1,7 \times 10^{-8}$
Prata	10^{-8}
Água Pura de Montanha	10^2 a 2×10^3
Água de Rio	2×10 a 6×10
Água com 3% de Sal	5×10^{-2} a 10^{-1}
Água com 20% de Sal	3×10^{-2}
Água do Mar	$0,18 \times 10^{-2}$ a $0,24 \times 10^{-2}$

ARRANJO WENNER / LEE

LOCAL: _____
TRECHO: _____
EST. OU Km: _____
INTERESSADO: _____

BOLETIM Nº: _____

CAMINHAMENTO: _____

ELETRORESISTIVIDADE . WENNER

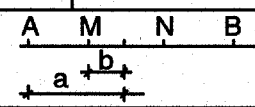
ACRÉSCIMO (m)		PROFUND. (m)	CAMADA (m)	LEITURA		U (V)		ρa (Ω.m)
b	a	MN	r	$\Delta I \cdot 10^{-3}$	$\Delta V \cdot 10^{-3}$			
0,5	1,5	1	1					
1,0	3,0	2	1					
1,5	4,5	3	1					
2,0	6,0	4	1					
2,5	7,5	5	1					
5,0	15,0	10	5					
7,5	22,5	15	5					
10,0	30,0	20	5					
15,0	45,0		15					
20,0	60,0		15					
25,0	75,0		15					
35,0	105,0		15					
50,0	150,0		45					
75,0	225,0		75					
100,0	300,0		125					

ρ a - RESISTIVIDADE APARENTE DE CADA CAMADA

$\rho a = 2\pi MN \frac{\Delta V}{I}$

$K = 4\pi . b$

MN = 2 b
a = 3 b



OBSERVAÇÕES:

DATA:

Figura 2

OPERADOR

An. Inf.
Figura 3

ARRANJO WENNER / LEE

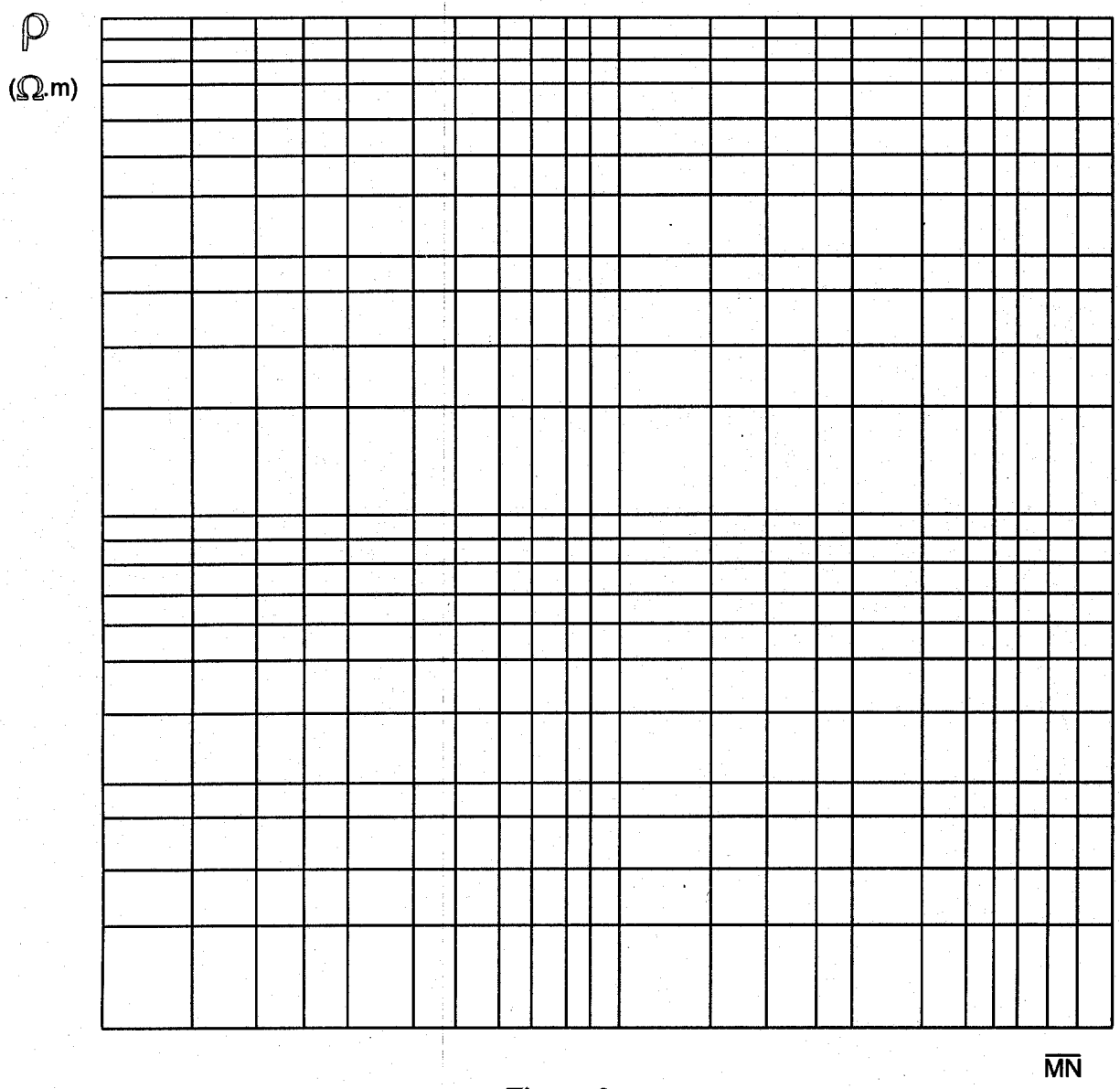
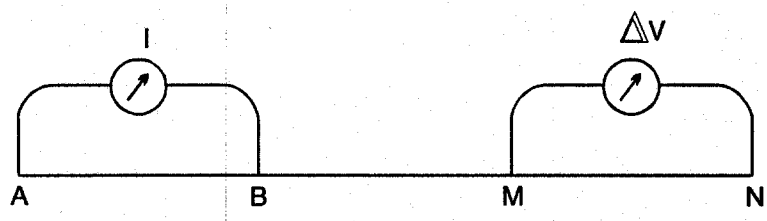



Figura 3